

**Tesis Monográfica para optar al Título de  
Ingeniero Electrónico**

**Título**

**“ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACION DE UN BANCO  
DE CAPACITORES EN LA EMPRESA YANBER”.**

**Autores:**

- Br. Geral Javier García Ampie
- Br. Yader Alberto Hernández Espinoza

**Tutor:**

MSc. Ernesto José Lira Rocha

**Managua, Mayo 2015**



## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introduccion.....	7
2. Antecedentes.....	10
3.Objetivos del estudio.....	12
3.1    Objetivo General.....	12
3.2    Objetivos especificos.....	12
4. Justificacion.....	13
5.     Marco Teorico.....	14
5.1    Elementos fundamentales para administrar la energia.....	14
5.2    Que es el factor de potencia.....	16
5.3    Potencia activa monofásica.....	18
5.4    Potencia reactiva monofásica.....	19
5.5    Potencia aparente monofásica.....	20
5.6    Potencia activa en sistemas trifásicos equilibrados.....	20
5.7    Potencia reactiva en sistemas trifásicos equilibrados.....	21
5.9    Potencia aparente en sistemas trifásicos equilibrados.....	21
6. Hipótesis y variables.....	22
7. Metodología de trabajo.....	23
7.1    Programación de los recursos y en tiempo.....	23
7.2    Recopilar datos y recorrido por la planta.....	23
7.3    Toma de mediciones en el campo.....	24
7.4    Analizar datos.....	24
7.5    Elaboración de la alternativa del proyecto.....	25
7.6    Elaborar el informa final.....	25
8. Banco de capacitores automáticos.....	26
9. Corrección del factor de potencia.....	36
10. Calculo del banco de capacitores.....	61
11. Conclusiones.....	66
12. Bibliografia.....	67
13. Anexos.....	68

## ACRONIMOS

Hp	HorsePower.
FP	Factor de Potencia.
P	Potencia Activa.
S	Potencia Aparente.
Q	Potencia Reactiva.
KW	Kilovatios.
KVA	Kilovoltio-Amperio
KVAR	Kilovatio amperio reactivo
Kwh	Kilo watt hora
V	Voltaje.
I	Corriente.
Z	Impedancia.
V <sub>L</sub>	Voltaje de Línea.
I <sub>L</sub>	Corriente de Línea
k	Relación de transformación del transformador de corriente
NEMA	National Electrical Manufactures Association
BT	Baja tension
MT	Media tensión

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la empresa Yanber motivo de estudio.	3
Figura 2: Modelo de los elementos necesarios para Administrar la Energía	9
Figura 3: Factor de potencia en diferentes cargas	11
Figura 4: Triangulo de potencia	12
Figura 5: Diagrama esquemático de un banco de capacitores automáticos	28
Figura 6: Determinación del $\cos\phi$	30
Figura 7: Conexión de los diferentes pasos y las respuesta a las armónicas	36
Figura 8: Esquema de compensación del factor de potencia	40
Figura 9: Compensación en un motor monofásico	41
Figura 10: Compensación en un motor trifásico	42
Figura 11: Factor de potencia versus potencia reactiva	45
Figura 12: Diagrama de compensación individual	47
Figura 13: Diagrama de compensación en grupo	48
Figura 14: Diagrama de compensación central	49
Figura 15: Diagrama de compensación combinada	49
Figura 16: La compensación $Q_c$ permite la ampliación $S_2$ sin tener que cambiar el transformador	61
Figura 17: Consumo en Kvar mensual de la planta Yanber en 2014	63
Figura 18: Factor de potencia mensual de la planta Yanber en 2014	63

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valor de c/k de acuerdo a los rangos del transformador de corriente y a la Potencia reactiva por paso.	33
Tabla 2: Valores del coeficiente de recargo $K_r$	38
Tabla 3: Factor multiplicador de la sección de los cables en función del $\cos\phi$	38
Tabla 4: Tabla de multiplicadores de los kW para corregir el factor de potencia	43
Tabla 5: Medición de parámetros eléctricos en la Planta Yanber	52
Tabla 6: Tabla del índice de multiplicador para encontrar los VAR directo	67
Tabla 7: Medición de parámetros eléctricos en la Planta Yanber	65
Tabla 8: Cálculos de ahorros en KVar	65

## 1. Introducción

La Empresa de fabricación de Plásticos Yanber se ubica en la cuesta el Plomo de la ciudad de Managua, actualmente la factura eléctrica es de C\$ 598,133.48 córdobas al mes, con un consumo de 96,600.00 Kwh al mes y una demanda máxima de 366 KW, datos que representa el consumo promedio de los últimos 12 meses y se encuentra en el pliego Tarifario de Disnorte y Dissur en Tarifa Industrial (T3-BTH).

En los sistemas industriales se hace mucho más frecuente la necesidad de utilizar compensadores de potencia reactiva debido a la diversidad de cargas existentes de naturaleza inductiva. Algunas cargas típicas que requieren compensación son los molinos de acero, los transportadores y en especial los motores, siendo estos últimos el más representativo consumidor de potencia reactiva puesto que al energizar un motor de gran capacidad este requiere una alta potencia reactiva para poder funcionar.

Como consecuencia esta energía reactiva provoca una penalización por bajo factor de potencia en este tipo de industria y como consecuencia las industrias afectadas pagan mucho más en su factura eléctrica innecesariamente. Los bancos de capacitores ayudan a compensar y estabilizar el factor de potencia, adaptándose a las variaciones de carga; redundando en un beneficio inmediato al eliminar las causas de penalización. Este ahorro nos permite recuperar la inversión de los equipos en un mediano plazo.

Los sistemas de compensación de potencia reactiva tienen la finalidad de aportar energía reactiva para que el conjunto de la instalación presente un factor de potencia deseado, cercano a la unidad. Obteniendo con ello una bonificación en la factura de consumo eléctrico y así evitar las penalizaciones en la factura eléctrica.

El concepto de factor de potencia, los efectos que se presentan cuando su valor es bajo, y los métodos para corregirlo, no son temas nuevos. Desde hace muchos años han sido tratados en innumerables artículos, libros y revistas especializadas.

Sin embargo el factor de potencia es un problema permanente y de obligada importancia para todos aquellos relacionados con el diseño y operación de sistemas eléctricos industriales.

El objetivo principal de este estudio es proporcionar métodos de análisis para poder verificar el factor de potencia de una instalación eléctrica, al mismo tiempo, poder determinar la viabilidad de la instalación de un banco de compensación de Reactiva por bajo factor de potencia.

El factor de potencia se debe determinar para verificar si se encuentra dentro de los rangos permitidos por las normas emitidas por la empresa distribuidora de energía eléctrica Disnorte y Dissur. De no darse este caso se procederá a plantear un cálculo aproximado de las penalizaciones económicas que existen por tener un bajo factor de potencia en la industria de plástico Yanber.

Además se pretende promover la eficiencia eléctrica con un enfoque en la reducción del consumo de electricidad y de esta manera bajar la factura eléctrica específicamente en la empresa de plásticos YANBER.

El objetivo de este trabajo es analizar el consumo eléctrico de la empresa y dar soluciones que permitan el ahorro mediante la implementación de bancos de capacitores para la compensación de potencia reactiva, persiguiendo con ello:

- Un menor costo en el consumo de energía eléctrica.
- Aumento en la capacidad del sistema.
- Mejora en la calidad del voltaje.
- Aumento de la vida útil de las instalaciones.
- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.
- Bonificación por un factor de potencia superior al 0.9
- Menores pérdidas en el sistema
- Potencia liberada en el transformador: (kVAs Disponibles)

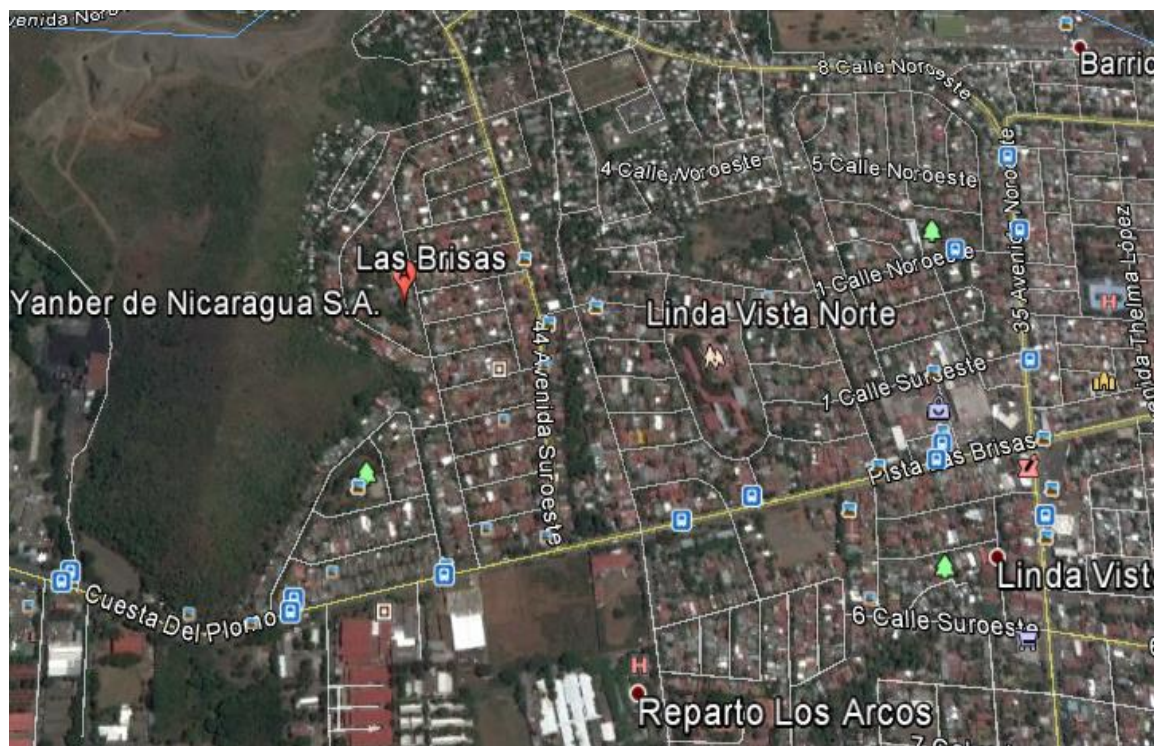


Por lo antes mencionado resulta práctico y económico en esta industria realizar un estudio que permita verificar si existe la necesidad de mejorar el factor de potencia en la empresa Yanber ya sea , por medio de la instalación de condensadores eléctricos estáticos, o bien, por medio de un banco de condensadores eléctricos automáticos.

## Ubicación del Proyecto

PLASTICOS YANBER DE NICARAGUA

Boulevard Las Brisas Entrada al Ramírez Goyena 1c al Oe 1c al S Nicaragua, Managua.



**Figura 1:** Ubicación de la empresa Yanber motivo de estudio.

## 2. Antecedente

En el año 2010 la empresa YANBER durante un mantenimiento eléctrico donde se realizó una lectura de cargas sobre cada línea, comprobó que había un desbalance considerable de cargas, ya que la primera línea tenía más cargas que las otras dos líneas en un 15%, y esto ocasionaba calentamiento en las líneas de suministro lo que, detenía el uso de sus máquinas, además disparaba las protecciones y los breaker. La consecuencia más notable de esto es que al estar desbalanceadas las cargas se produce un exagerado consumo energético y por lo tanto consumo monetario, sin contar que la constante desactivación de los motores causó daños en sus bobinados de arranque a pesar de que tenían protecciones térmicas.

Actualmente la empresa ejecuta una serie de medidas entre ellas el balanceo de cargas eléctricas en los paneles de distribución, instalaciones de variadores de frecuencia en motores de 50 Hp y arranque estrella –Delta en motores.

Con la Instalación de Variadores de frecuencia permitió la disminución del consumo eléctrico. Otros detalles relevantes que se pueden conseguir con el variador de frecuencia son los siguientes: disminución del ruido de la maquinaria, menor calentamiento del aceite porque únicamente se desplaza el aceite necesario para cada movimiento; reducción de sobrecargas en motor eléctrico; mejora de la vida útil del aceite y disminución de consumo en los equipos de enfriamiento de máquinas.

Con el sistema arranque estrella–Delta se redujo la corriente en el momento del arranque al alimentar a una tensión menor  $U_n/\sqrt{3}$ . Con ello se consigue que la intensidad baje a una tercera parte de la intensidad que se produciría en un arranque directo. También el par de arranque se reduce a menos de la mitad, lo que hace imposible este sistema en motores de media potencia que arranquen con carga. Otro inconveniente es el corte de tensión que se produce al pasar de estrella–Delta.

A pesar de todos estos cambios el consumo de energía reactiva en el sistema está presente por lo que es necesario buscar un método de compensación.

El método clásico de compensación de la potencia reactiva se centra en la localización y dimensionamiento de los bancos de condensadores a lo largo del alimentador para evitar el flujo de potencia reactiva [Grainger & Lee, 81].

La localización y dimensionamiento de filtros paralelos se considera como una metodología general, para reducir pérdidas de potencia y energía, y proveer calidad de potencia (la solución capacitiva puede ser una opción). La existencia de cargas no lineales en conjunto con una solución de disminución de flujo armónico, hacen necesario el análisis de respuesta en frecuencia del sistema, con el fin de ver si la solución de pérdidas mínimas tiene un buen comportamiento de respuesta en frecuencia con la ayuda de nuevas tecnologías.

Actualmente cualquier máquina del mercado puede ser adaptada a las nuevas tecnologías. Los equipos modernos nos dan posibilidades de regulación infinitas y permiten conseguir resultados sorprendentes en el ahorro de energía.

El uso de equipo electrónico moderno ha cambiado nuestras vidas (la mayoría argumentarían para mejorar) pero ha cambiado también la característica de carga de las instalaciones modernas. Las cargas electrónicas han ganado el nombre de “Carga no lineal”; para describir la forma de la potencia.

Algunos de los efectos adversos de cargas no lineales concentradas sobre una compañía de electricidad son:

- La distorsión de voltaje dentro de instalaciones
- Las corrientes excedentes por el neutro
- Los altos niveles de voltaje de neutro a tierra
- El recalentamiento de los transformadores
- Los grandes campos magnéticos que emanan desde transformadores
- La reducción en la capacidad de distribución
- Penalización por bajo factor de potencia

### **3. Objetivos del estudio**

#### **3.1 Objetivo general**

- Realizar un estudio para el adecuado dimensionamiento de un banco de capacitores en la empresa Yanber verificando su rentabilidad para su respectiva instalación.

#### **3.2 Objetivo específico**

- Realizar un diagnóstico de consumo en el sistema eléctrico para medir y analizar variables como Voltaje, corriente, factor de potencia, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.
- Dimensionar un banco de condensadores para obtener un factor de potencia de 0.96
- Determinar si es necesario realizar un análisis financiero de los posibles ahorros en la factura eléctrica.

## 4. Justificación

La importancia del estudio se fundamenta en poder analizar las oportunidades de ahorro de energía eléctrica en la empresa YANBER. El factor de potencia se corrige por causas económicas que beneficia tanto al usuario de energía eléctrica, como a la compañía suministradora. Para esto se debe elevar el factor de potencia a un valor cercano a la unidad.

Es importante destacar que la introducción de cargas no-lineales en conjunto con la regulación de la calidad de potencia, ha hecho que la **compensación de la potencia reactiva** en presencia de armónicos (Potencia Ficticia), sea un requerimiento y resuelve la compensación de la potencia de magnetización fundamental clásica mediante la instalación de bancos de condensadores que es el objeto de estudio.

La importancia del estudio del diseño y dimensionamiento del banco de capacitores para corregir el bajo factor de potencia se fundamenta en contribuir con una metodología que facilite al lector familiarizarse con la teoría de circuitos sobre factor de potencia y como corregirlo en una instalación industrial a través de un ejemplo práctico en una pequeña empresa.

Se pretende verificar en las mediciones de los parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, consumo de potencia diario y mediciones del factor de potencia actual, para confirmar los datos facilitados por el jefe de mantenimiento de la empresa y si fuese necesario analizarlos con la factura eléctrica.

Es importante destacar que esta experiencia impactara positivamente tanto en los estudiantes como en los docentes que desearan conocer y adentrarse en el diseño y cálculo para corregir el factor de potencia, ya que es uno de los ejes importantes de cualquier industria, en el área de servicio de operación y mantenimiento. La metodología que se utilizará generará recomendaciones y lecciones aprendidas que pueden tomarse en la implementación de cualquier escenario de instalación eléctrica industrial ante un bajo factor de potencia.

## **5. Marco teórico**

En la gestión industrial de nuestro medio, el enfoque que se le da a la energía se limita, por lo general, a obtener una “buena tarifa energética”; en algunos casos, a monitorear los cambios en la cuenta mensual y en otros, a controlar la variación del índice de consumo (consumo por unidad de producción) en el tiempo.

Por lo tanto es necesario observar las oportunidades de cambios tecnológicos que puedan conducir a una disminución en el consumo de energía, los que generalmente tienen sus causas en problemas de mantenimiento que afectan la producción.

Es práctica común actuar sobre el consumo de la energía eléctrica y no sobre su uso eficiente, lo cual se explica porque es el consumo lo que se factura y lo que se paga.

Sin embargo, este enfoque no está orientado sobre la causa del problema que deseamos resolver, por lo que en el deseo de reducir los costos de la energía, solo se actúa sobre sus efectos y en muchas ocasiones, este esfuerzo se manifiesta infructuoso, con resultados cíclicos de altas y bajas.

### **5.1 Elementos fundamentales para administrar la energía**

Una organización que demuestra un propósito activo de mejorar día a día, implica que ha desarrollado acciones en las cuales participa con recursos humanos y recursos físicos.

Esto conlleva a mejoras en áreas tan importantes como la protección del ambiente, la aplicación de normas de salud, calidad y sanidad ocupacional.

En estas condiciones, administrar la energía significa identificar dónde están:

- Las pérdidas de energía del sistema que impactan los costos

- Determinar sus causas (si se deben a los procedimientos o a la tecnología)
- Establecer y monitorear en tiempo real, indicadores de eficiencia (que no es el índice de consumo) que permitan controlar y reducir las pérdidas relativas a los procedimientos.
- Evaluar técnica y económicamente los potenciales de reducción de las pérdidas relativas a la tecnología.
- Contar con un plan estratégico a corto, mediano y largo plazo con metas alcanzables y entendidas por todos los actores claves.

Ver figura 2



**Figura 2:** Modelo de los elementos necesarios para administrar la energía

La organización y la posterior implementación de un programa eficaz de ahorro o de eficiencia energética que sea sostenible en el largo plazo, no es cuestión de buena suerte ni se logra como consecuencia de una atención ligera, más bien, es el resultado del entendimiento entre el costo y el consumo de energía, creando una metodología de análisis bien desarrollada y mejor ejecutada, en concordancia con la realidad de la empresa y a las disponibilidades tecnológicas.

## 5.2 Que es el factor de potencia

Se denomina factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente como lo indica la ecuación # 1, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura, o sea que, el factor de potencia debe tratar de coincidir con el coseno  $\phi$  pero no es lo mismo.

$$FP = \frac{P}{S} \quad \text{Ecuación \# 1}$$

Es aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto y algunas empresas de servicio eléctrico exigen valores de 0,85 o más. También podemos decir que es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio- amperios (KVA).

El factor de potencia puede ser utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo. El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo. Por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil.

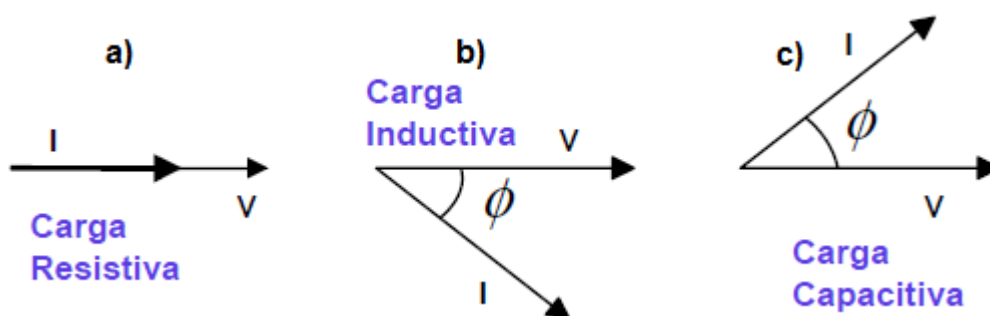
Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, generadores, transformadores, etc. Este carácter reactivo obliga a que, junto al consumo de potencia activa (KW), se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de equipos y motores.



Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas generadoras de electricidad, aunque puede ser producida por las propias industrias. Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución. Todas estas cargas industriales necesitan de corrientes reactivas para su operación.

Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia puede ser: adelantado, retrasado o igual a 1.

- En las cargas resistivas como las lámparas incandescentes, la tensión y la corriente están en fase en este caso, se tiene un factor de potencia unitario. Ver figura 3a.
- En las cargas inductivas como los motores y transformadores, la corriente se encuentra retrasada respecto a la tensión. En este caso se tiene un factor de potencia retrasado. Ver figura 3b.
- En las cargas capacitivas como los condensadores, la corriente se encuentra adelantada respecto al voltaje. En este caso se tiene un factor de potencia adelantado. Ver figura 3c.



**Figura 3:** Factor de potencia en diferentes cargas

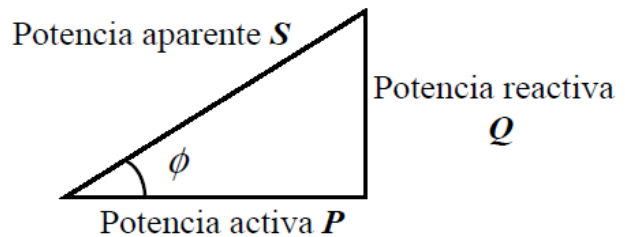
Por lo que se puede decir que el factor de potencia viene dado por la expresión:

$$FP = \frac{P}{S} \qquad \frac{P}{S} = \cos \phi \qquad \text{Ecuación \# 2}$$

P: Es la potencia activa en KW

S: Es la potencia aparente en KVA.

$\phi$ : Angulo entre la corriente (A) y el voltaje (V)



**FIGURA 4:** Triangulo de potencia

### EL Angulo $\phi$

En electrotecnia, el ángulo nos indica si las señales de voltaje y corriente se encuentran en fase.

## 5.3 Potencia activa monofásica

Es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación de la energía eléctrica en trabajo. Los diferentes dispositivos eléctricos existentes convierten la energía eléctrica en otras formas de energía tales como: mecánica, lumínica, térmica, química, etc. Esta potencia es, por lo tanto, la realmente consumida por los circuitos. Cuando se habla de demanda eléctrica, es esta potencia la que se utiliza para determinar dicha demanda. Se designa con la letra P y se mide en vatios (W). De acuerdo con  $P = V * I * \cos \phi$ , la ley de Ohm ( $V = I * R$ ) y el triángulo de impedancias se tiene:

$$P = V * I * \cos\varphi = I * Z * I * \cos\varphi = I^2 * R$$

Dónde:

P: potencia activa en Watt (W)

V: voltaje en voltios (V)

I: Corriente en Amperes (A)

Z: Impedancia de la línea en ohmios ( $\Omega$ )

$R = Z * \cos\varphi$

Resultado que indica que la potencia activa es debido a los elementos resistivos.

## 5.4 Potencia reactiva monofásica

Esta potencia no tiene tampoco el carácter que realmente consume y sólo aparecerá cuando existan bobinas o condensadores en los circuitos. La potencia reactiva tiene un valor medio nulo, por lo que no produce trabajo útil, se mide en voltamperios reactivos (VAR) y se designa con la letra Q. A partir de su expresión.

$$Q = V * I * \sin\varphi = I * Z * I * \sin\varphi = I^2 * X$$

Dónde:

Q: potencia reactiva en voltamperios reactivos (VAR)

V: voltaje en voltios (V)

I: Corriente en Amperes (A)

X: Reactancia de la línea en ohmios ( $\Omega$ )

Lo que nos reafirma que esta potencia es debida únicamente a los elementos reactivos

## 5.5 Potencia aparente monofásica

La potencia aparente de un circuito eléctrico de corriente alterna, es la suma de la energía que disipa dicho circuito en cierto tiempo en forma de calor o trabajo y la energía utilizada para la formación de los campos eléctricos y magnéticos de sus componentes. Esta potencia no es la realmente consumida, salvo cuando el factor de potencia es la unidad ( $\cos\phi=1$ ), y nos señala que la red de alimentación de un circuito no sólo ha de satisfacer la energía consumida por los elementos resistivos, sino que también ha de contarse con la que van a suministrar a bobinas y condensadores. Se la designa con la letra S y se mide en voltamperios (VA).

## 5.6 Potencia activa en sistemas trifásicos equilibrados

Es la suma de las potencias activas de los sistemas monofásicos que lo componen, al ser el sistema equilibrado, la potencia activa será el triple de la de una fase.

$$P_{3\phi} = 3 * V_{\phi} * I_{\phi} * \cos\phi$$

Dónde:

$I_{\phi}$ : Corriente de cada una de las fases en amperes (A)

$V_{\phi}$ : Voltaje de cada una de las fases en voltios (V)

P: Potencia Activa en Watt (W)

$\cos\phi$ : Factor de Potencia del sistema

Donde los valores de tensiones y corrientes de línea: "Estrella" o "Y", dan los siguientes resultados al valor de la potencia:

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos\phi$$

## 5.7 Potencia reactiva en sistemas trifásicos equilibrados

$$Q = 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin\phi$$

Dónde:

$I_{\phi}$ : es la corriente de cada una de las fases en amperes (A)

$V_{\phi}$ : es el voltaje de cada una de las fases en voltios (V)

Q: Potencia reactiva en voltamperios reactivos (VAR)

$\sin\phi$ : Factor de potencia reactivo

La potencia reactiva en función de los valores de tensiones y corrientes de línea:

$$Q = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L \cdot \sin\phi$$

Dónde:

$V_L$ : es el voltaje de línea a línea en Voltios (V)

$I_L$ : es la corriente de línea en Amperes (A)

$\sin\phi$ : Factor de potencia reactivo

## 5.8 Potencia aparente en sistemas trifásicos equilibrados

$$|S| = \sqrt{(P^2 + Q^2)} = \sqrt{(3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \cos\phi)^2 + (3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi} \cdot \sin\phi)^2}$$

$$S = 3 \cdot V_{\phi} \cdot I_{\phi}$$

Dónde:

$I_{\phi}$ : es la corriente de cada una de las fases en amperes (A)

$V_{\phi}$ : es el voltaje de cada una de las fases en voltios (V)

S: potencia aparente en voltamperios (VA)

La potencia aparente en función de los valores de tensiones y corrientes de líneas:

$$S = \sqrt{3} \cdot V_L \cdot I_L$$

Dónde:

$V_L$ : es el voltaje de línea a línea en Voltios (V)

$I_L$ : es la corriente de línea a línea en Amperes (A)

## **6. Hipótesis y Variables**

### **Hipótesis**

Se puede instalar un banco de capacitores que mejore la eficiencia eléctrica de la planta reduciendo así los costos de operación.

### **Variables**

1. Pertinencia de la Información.
2. Funcionalidad de la Información.
3. Adecuación de la Información.
4. Parámetros Técnicos de Interés Tratados (Voltaje, Corriente y Factor de Potencia.).

## **7. Metodología de Trabajo**

En esta metodología se hace un análisis del procedimiento para el cálculo de un banco de capacitores, para llevar a cabo el suministro de potencia reactiva dentro de un sistema industrial, así como los criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados, siguiendo los pasos a continuación:

### **7.1 Programación de los recursos y el tiempo**

La primera actividad a realizar es concentrar y revisar toda la información disponible de la planta, tal como:

- Nombre de la empresa.
- Rama industrial a la que pertenece y productos que elabora.
- Tamaño y edad de la planta.
- Localización de la planta.
- Horarios típicos de operación.
- Consumos anuales de los energéticos utilizados por la planta.

### **7.2 Recopilar datos y recorrido por la planta**

El objetivo de este paso es el de reunir datos de todo aquello relacionado con el uso de la energía de la planta, tales como: historial de producción y consumo de energéticos, información recopilada como resultado de una inspección visual a toda la planta. En este paso se pretende obtener:

- Historial de consumo y producción
- Inspección visual
- Registro de levantamiento de datos

### **7.3 Toma de mediciones en campo**

En esta actividad se realizarán las mediciones de los parámetros en el sistema eléctrico con el Fluke 43B (POWER QUALITY ANALYZER), con la finalidad de determinar la eficiencia energética de los equipos, así como obtener información que permita proponer mejoras. Para esto se pretende realizar mediciones en:

- Paneles eléctricos de Distribución

### **7.4 Analizar los datos**

Una vez que la información ha sido recopilada en los pasos anteriores del estudio, la información deberá ser capturada y ordenada para proceder a su análisis, con la finalidad de identificar las áreas de oportunidad de ahorro de energía que ofrezca la instalación.

Se pretende obtener mediciones de los paneles de distribución de energía de la planta y la primera actividad a realizar en esta etapa, es la realización de los balances de energía en los paneles.

Por otra parte para asegurar que se están evaluando todas las medidas de ahorro posibles, es muy importante el contar con una lista de verificación de áreas de oportunidad de ahorro por tipo de aplicación. Para ello se trabajara en:

- Elaboración de balances de energía
- Medidas de ahorro de energía



## 7.5 Elaboración de la alternativa de proyecto

Una vez que las oportunidades de ahorro de energía han sido identificadas y analizadas, se deberá seleccionar la alternativa de proyecto que mejor resulte, donde esta alternativa de ahorro propuestas presente la siguiente información:

- Número descripción de la medida
- Resumen que contiene:
  - Ahorro de Energía (kWh/año).
  - Ahorro económico (USD/año).
  - Inversiones necesarias (USD).
  - Periodo de Recuperación de la Inversión (años).
- Descripción de la situación actual. Breve descripción de la situación actual que dé pie a la medida propuesta.
- Cálculo de los ahorros. Describir los ahorros que se pretenden obtener al implantar esta medida.
- Evaluación económica. Dicha evaluación deberá contener al menos el cálculo del período de retorno de la inversión.

## 7.6 Elaborar el informe final

El paso final es el de preparar un informe que contenga las observaciones y conclusiones del estudio de eficiencia eléctrica, haciendo énfasis en las oportunidades de ahorro de energía, y el plan de acción para implantarlas.

Este informe también deberá de presentar todos los datos energéticos básicos de la planta en una forma consistente.

En esta metodología se hace un análisis de las características que un banco de capacitores debe reunir para llevar a cabo el suministro de potencia reactiva dentro de un sistema industrial, así como los criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados.

## 8. Banco de capacitores automáticos

La potencia reactiva requerida (capacitiva) no es completamente constante durante las 24 horas del día. El requerimiento para potencia reactiva puede ser dividido en tres categorías.

- Requerimiento prácticamente constante

Este caso se aplica cuando la carga reactiva es constante. Esto es cierto considerando la compensación de la corriente de magnetización de un transformador de distribución, por ejemplo: un capacitor fijo puede ser usado.

- Requerimiento variable

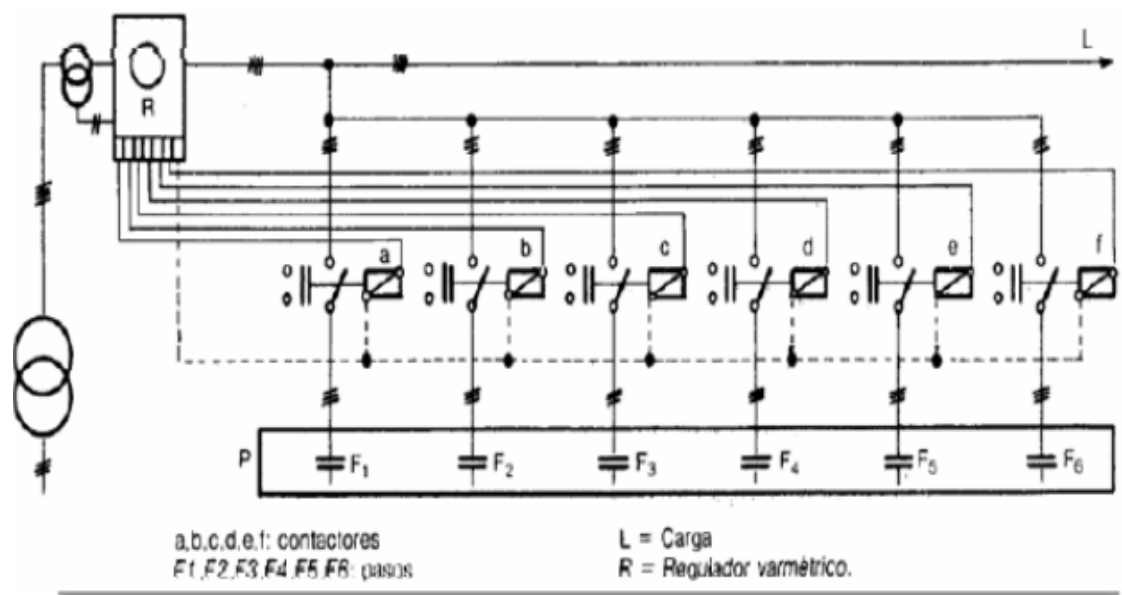
Este caso puede resultar cuando la carga reactiva total varía durante el día, pero es aún demasiado pequeña para ser compensada individualmente en los objetos de carga diferentes (por razones de costo). Para este caso se debe usar un capacitor con potencia reactiva variable con la carga. Esto es un banco automático de capacitores.

- Requerimientos instantáneos

Este caso se aplica cuando el requerimiento es significativo en tamaño y la conmutación rápida es esencial (entre 0 y 0.25 ms). Capacitores controlados por tiristores pueden ser empleados.

### 8.1 Principio de operación

Cada banco está construido con un cierto número de capacitores trifásicos colocados en el mismo gabinete (contenedor). Los capacitores pueden ser arreglados en grupos en paralelo y conmutados con contactores.



**Figura 5:** Diagrama esquemático de un banco de capacitores automáticos

- El número de capacitores autónomos está usualmente referido como pasos
- El número de pasos son usualmente cinco o seis
- La conmutación de los contactores y sus capacitores individuales es controlada por un regulador (varimétrico).

## 8.2 Bancos auxiliares

Los bancos de capacitores son preparados para grandes rangos de potencia. De hecho la potencia de cada paso de capacitor puede ser doblada instalando próximo al banco principal un banco auxiliar con una superestructura conteniendo seis contactores idénticos a aquellos del banco principal. De esta manera se obtiene una conexión en cascada. Es posible multiplicar el número de bancos aún más. El principio es el mismo, por ejemplo, el contacto auxiliar de cada contactor es usado para enganchar los pasos correspondientes en las siguientes unidades auxiliares. Los bancos de capacitores auxiliares no están equipados con reguladores varimétrico y cada uno aumenta el valor de un paso por un sexto de la potencia adicional conectada.

### 8.3 El regulador de varimétrico

El regulador de vares tiene 4 funciones distintas:

- a)** Medir potencia reactiva requerida y controlar la conmutación (conexión y desconexión) de los diferentes pasos de los capacitores dependiendo del factor de potencia deseado

Esto es de hecho de la siguiente manera:

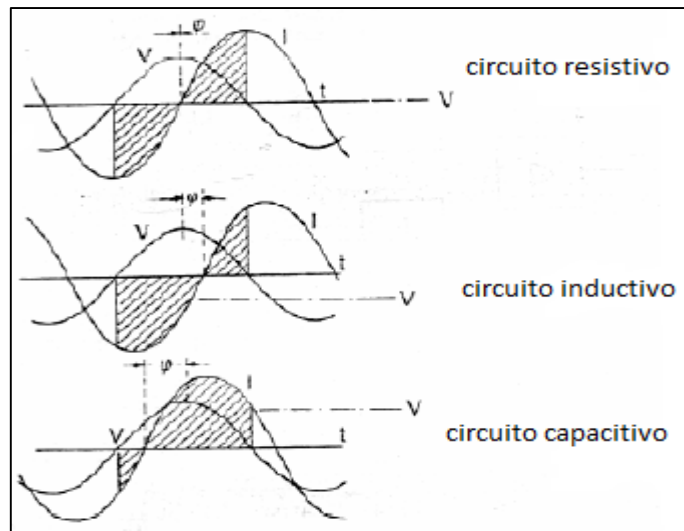
- Determinación del coseno  $\phi$  deseado
  - Medición del coseno  $\phi$
  - Ajuste de sensibilidad
  - Control de los pasos del capacitor
  - Intervalos de conmutación entre dos pasos
- b)** Desconexión en voltaje cero
- c)** Insensibilidad a las armónicas
- d)** Señalización de pasos de conmutación

#### 8.3.1 Medición del coseno $\phi$

Las señales de corrientes y voltaje son requeridas para determinar el valor del  $\cos\phi$ . Si la medición de corriente es hecha en la fase R, por ejemplo, y el voltaje es medido entre las fases S y T, el voltaje resultante estará  $90^\circ$  fuera de fase con respecto a la fase R. Supongamos que el circuito es resistivo ( $\cos\phi = 1$ ).

La corriente en R y el voltaje entre S y T esta cambiado en  $90^\circ$ . La secuencia de fase debe ser notada a fin de obtener una corriente retrasada del voltaje. La señal de la función del  $\cos\phi$ . Puede ser obtenida de dos formas.

## Método de integración



**Figura 6:** Determinación del  $\cos\phi$

Determinamos el valor integral de la corriente durante una mitad de onda cuando el voltaje es positivo. Podemos ver en la figura anterior la primera gráfica donde la corriente está en fase con el voltaje (no olvide que tenemos cambiado el voltaje en  $90^\circ$ ) que el valor integral es idéntico en la zona positiva y negativa, siendo el resultado cero. En las otras dos gráficas donde la corriente se retrasa (circuito inductivo) o se adelanta (circuito capacitivo), puede verse que el resultado no es más grande que cero, teniendo un valor positivo (circuito inductivo) o un valor negativo (circuito capacitivo).

Puede ser mostrado que este valor resultante es una función de:

- La corriente (la cual es el flujo de corriente principal en CT, si es provisto)
- El desfasamiento de corriente-voltaje

## Método de fase

Las señales de voltaje y corriente usadas son idénticas a aquellas descritas en el método precedente. La señal de voltaje alterno es transformada en un impulso de corta duración con amplitud constante y desfasada  $90^\circ$ .

Esta es una señal senoidal, la cual es una función de la corriente de alimentación transistor de efecto de campo. El voltaje de salida será un impulso con amplitud proporcional al valor de la corriente en ese momento.

### 8.3.2 Ajuste del $\cos\phi$

Este ajuste es hecho externamente por medio de un potenciómetro graduado en valores de  $\cos\phi$ .

#### Método de integración

El principio consiste en el desfaseamiento de la señal de voltaje (usada para medir los valores del  $\cos\phi$ ) en relación a su fase original la cual es hecha por medio de un circuito RC. Cuando el valor de la resistencia es cero, el valor de voltaje de salida es igual y en fase con el voltaje de entrada. Por el incremento de del valor de la resistencia, desfasamos el voltaje de salida en relación al voltaje de entrada. Como estamos integrando la corriente en función del tiempo donde el voltaje es positivo, el valor del voltaje no tiene importancia, tan sólo la fase es la que importa. La resistencia es regulada por medio de un potenciómetro graduado en valores de  $\cos\phi$ .

#### Método de fase

También actuamos sobre el vector de voltaje, por desfaseamiento (en avance o retraso) el impulso representa el voltaje, usando un circuito RC en el que la constante de tiempo ha sido cambiada.

### 8.3.3 Ajuste de sensibilidad (c/k)

El ajuste de (c/k) consiste en usar ya sea atenuación de corriente o amplificación de la señal de salida de la medición del  $\cos\phi$  .más ajuste. Determinando el valor de  $\cos\phi$  deseado por medio de la fijación de la potencia reactiva tolerada para un valor de potencia deseado. En otras palabras, fijando  $\cos\phi$  para una corriente activa dada por medio de la fijación de la corriente reactiva. La corriente reactiva es la diferencia entre la corriente resultante de la carga inductiva y la corriente capacitiva.

En el caso de un banco automático, la corriente capacitiva aumenta por paso hasta que alcanza la resultante seleccionada. Puede verse de inmediato que es imposible obtener la corriente residual aceptable exacta, y que una tolerancia debe ser permitida. Si la tolerancia es insuficiente, hay un riesgo de bombeo, por ejemplo: una sucesión continua de conexión y desconexiones de un paso.

Es evidente que el bombeo puede ser evitado si la tolerancia de sensibilidad total excede la corriente en un paso del capacitor. En la práctica el regulador no es puesto para reaccionar a cambios muy pequeños de la carga inductiva, sino para cambios correspondientes a 2/3 de la corriente de un paso del capacitor.

Entonces el regulador sensibiliza la corriente de capacitor medio del transformador de corriente, es importante notar el rango del transformador. El valor de la variación también llamada corriente de inicio y es designada por  $c/k$ . El valor de  $c/k$  puedes ser calculado por la formula siguiente:

$$I_c = 0.62 * \frac{Q}{K} * (10^3) = \frac{360 * V}{V * \sqrt{3} * k} \quad Q * k$$

En donde:

Q: potencia nominal de un paso del capacitor en KVAR

V: voltaje de la red en V

k: relación de transformación del transformador de corriente

El rango de las escalas del regulador varía entre 0.07 y 1

Ejemplo: supongamos que tenemos un banco de 120 KVAR/400 V, construido de 6 pasos cada uno de 20 KVAR. La corriente es medida por un transformador de corriente, con rango de 500/5, obtendremos:

$$C = 360 * \frac{20}{K} = 0.18 \quad 400 * (500/5)$$

KVAR 230V KVAR 400 V k	6.6		10		13.3		20		26		30		40
		10		20		30		40		50		60	
50/5 10	1	0.90											
100/5 20	0.52	0.45	0.78	0.90	1								
150/5 30	0.34	0.30	0.52	0.60	0.69	0.90	1						
200/5 40	0.26	0.23	0.39	0.45	0.52	0.68	0.78	0.9	1				
300/5 60	0.17	0.15	0.26	0.30	0.35	0.45	0.52	0.60	0.68	0.75	0.78	0.9	1
400/5 80	0.13	0.11	0.20	0.23	0.26	0.34	0.39	0.45	0.51	0.56	0.59	0.68	0.78
500/5 100	0.10		0.16	0.18	0.21	0.27	0.31	0.36	0.41	0.45	0.47	0.54	0.63
600/5 120			0.13	0.15	0.17	0.23	0.26	0.30	0.34	0.38	0.39	0.45	0.52
800/5 160			0.10	0.11	0.13	0.17	0.20	0.23	0.25	0.28	0.29	0.34	0.39
1000/5 200					0.10	0.14	0.16	0.18	0.20	0.23	0.25	0.27	0.31
1500/5 300							0.10	0.12	0.14	0.15	0.16	0.18	0.21
2000/5 400									0.10	0.11	0.12	0.14	0.16
3000/5 600													0.10

**Tabla 1:** Valor de  $c/k$  de acuerdo a los rangos del transformador de corriente y a la potencia reactiva por paso.

El valor de  $c/k$  es regulado tomando una parte del voltaje generado por la corriente integrada. Esto es hecho usando un potenciómetro graduado en  $c/k$  alimentado en un amplificador en paralelo con un circuito RC. El voltaje CD es la salida representa así una cierta parte de la potencia reactiva para ser compensada.



Este voltaje de salida controla dos transistores uno NPN y otro PNP acoplados en paralelo. Dependiendo de la polaridad del voltaje medio, ya que uno u otro de esos transistores serán controlados.

Los LED'S (diodos emisores de luz) son conectados en los circuitos del colector del transistor. Esos diodos indicarán si la corrección a ser realizada es inductiva o capacitiva.

#### 8.3.4 Control de pasos

La señal de salida ajustada por el potenciómetro de c/k proporciona dos Indicaciones:

- Si tienen un valor suficiente controlará la operación
- Si es positivo, esta operación consiste en conectar un capacitor y viceversa

Por medio de un medidor (circuito integrado) recibiendo a señal, controla los contactores principales por medio de relevadores auxiliares integrados con el regulador de vares.

#### 8.3.5 Secuencia de conexión

Existen tres tipos principales.

##### **a)** adición

El primer capacitor es siempre conectado tan pronto como exista una demanda, el segundo, el tercero, etc. Son conectados cuando la demanda aumenta y viceversa. Esto es representado como 1.1.1.1.1.

##### **b)** progresión

El banco incluye capacitores con valores diferentes que son múltiplos del primer paso, por ejemplo: 1-2-4 etc. El paso 1 está en la primera demanda, si la demanda aumenta, el paso 2 es conectado y el paso 1 es desconectado. Un problema puede aparecer con la conexión de un capacitor con 4 veces la unidad de potencia, pero esto puede ser reducido con una secuencia 1-2-2.

### c) rotación

Los métodos precedentes sólo permiten aumentos y ciertos capacitores (por ejemplo el primero), están con mucha mayor frecuencia conectados, con respecto los otros. En un intento de restaurar el balance tendríamos:

Demanda: conecte 1

Nueva demanda: conecte 2

Reducción: desconecte (no es el 2 como en la secuencia de adición).

#### 8.3.6 Intervalos de conmutación

El problema con los intervalos demasiado cortos entre operación de conmutación, es importante cuando  $c/k$  es calculado inadecuadamente y puede conducir al efecto previamente mencionado llamado búsqueda. Aún si los capacitores están equipados con resistencia de descarga, es necesario permitir un cierto tiempo después de la desconexión de un capacitor antes que una nueva conexión sea hecha, para permitir al capacitor descargarse a un nivel de voltaje residual bajo.

El capacitor, por lo tanto, no debe ser reconectado a una carga antes que haya sido suficientemente descargado. Un cierto tiempo mínimo debe ser fijado entre la desconexión y la reconexión del paso del capacitor. Este tiempo puede ser obtenido en el contador y es típicamente alrededor de 40 segundos. Esto es suficiente para evitar sobre corrientes extras debido a la conmutación repetida del capacitor.

#### 8.3.7 Desconexión en voltaje cero

Para evitar el problema de la auto-excitación en un motor, el capacitor debe ser desconectado cuando el voltaje es cortado. Durante un corte principal excedido en 2 periodos, el medidor es automáticamente puesto a cero. El medidor es reactivado 90 segundos después de la reenergización.

#### 8.3.8 Armónicas

Las armónicas son más y más comunes en los sistemas de suministro principales, y es imperativo que el regulador de vares deba ser insensible a ellas.

Durante una onda alterna fundamental, la integral de las armónicas pares es cero, pero la integral de las ondas armónicas impares iguala una alternancia.

Paso	Salida					
	1	2	3	4	5	6
	Acoplamiento					
	1	1	1	1	1	1
1	*					
2	*	*				
3	*	*	*			
4	*	*	*	*		
5	*	*	*	*	*	
6	*	*	*	*	*	*

Paso	Salida		
	1	2	3
	Acoplamiento		
	1	2	2
1	*		
2		*	
3	*	*	
4		*	*
5	*	*	*

**Figura 7:** Conexión de los diferentes pasos y las respuesta a las armónicas

El regulador de vares trabajando por integración es insensible a las armónicas pares y sensibles a las armónicas impares pero con una atenuación. El regulador trabajando por examen de fase es altamente sensible a las armónicas, y debe tener un filtro de entrada que permita el paso de la onda fundamental sin modificación y las frecuencias altas atenuadas considerablemente por ejemplo:

- 1/5 de la 1ra. /2da armónica
- 1/10 de la 3ra. armónica
- 1/20 de la 4ta. armónica

## 9. Corrección del factor de potencia

Los transformadores, equipos de soldar, hornos de inducción, lámparas de descarga (fluorescentes, de vapor, de mercurio, etc.), consumen potencia reactiva inductiva, como lo hacen los motores eléctricos.

Esta potencia reactiva debe ser generada en algún lugar. Esta es la razón para instalar capacitores. Los capacitores no consumen prácticamente potencia activa y pueden producir energía reactiva localmente, compensando así la potencia reactiva inductiva consumida por las máquinas antes mencionadas, individualmente o en grupos.

Para una potencia activa constante, la potencia reactiva transmitida para este grupo de cargas (la carga inductiva y el capacitor) puede así ser reducida; el factor de potencia en la red ha sido mejorado o corregido. De esto surge la pregunta:

¿Por qué mejorar el factor de potencia?

Reducción del recargo de reactiva en la factura de electricidad, dicho coeficiente de recargo se aplica sobre el importe a pagar por la suma de los conceptos siguientes:

- Término de potencia (potencia contratada)
- Término de energía (energía consumida)

La fórmula que determina el coeficiente de recargo es la siguiente:

$$K_R = \frac{17}{\cos \varphi} - 21$$

Obteniéndose los coeficientes indicados en la tabla 2

$\cos\phi$	Kr
1	- 4 %
0.95	- 2.2 %
0.9	0.0 %
0.8	5.6 %
0.6	26.2 %
0.5	47.0 %

**Tabla2:** Valores del coeficiente de recargo Kr

Optimización técnico-económica de la instalación, un buen factor de potencia permite optimizar técnica y económicamente una instalación. Evita el sobredimensionamiento de algunos equipos y mejora su utilización.

Disminución de la sección de los cables, en la tabla 3 indica el aumento de sección de los cables motivado por un bajo  $\cos\phi$ . De este modo se ve que cuanto mejor es el factor de potencia (próximo a 1). Menor será la sección de los cables.

Factor multiplicador de la sección	1	1.25	1.67	2.5
$\cos\phi$	1	0.8	0.6	0.4

**Tabla 3:** Factor multiplicador de la sección de los cables en función del  $\cos\phi$

Disminución de las pérdidas en las líneas, un buen factor de potencia permite también una reducción de las pérdidas en las líneas para una potencia activa constante. Las pérdidas en vatios (debidas a la resistencia de los conductores) están, efectivamente, integradas en el consumo registrado por los contadores de energía activa (Kwh) y son proporcionales al cuadrado de la intensidad transportada. Reducción de la caída de tensión, la instalación de condensadores permite reducir, incluso eliminar, la energía reactiva transportada, y por lo tanto reducir las caídas de tensión en línea. Aumento de la potencia disponible, la instalación de condensadores aguas abajo de un transformador sobrecargado que alimenta una instalación cuyo factor de potencia es bajo, y por lo tanto malo, permite aumentar la potencia disponible en el secundario de dicho transformador. De este modo es posible ampliar una instalación sin tener que cambiar el transformador.

NOTA: Recuerde la mejora del factor de potencia optimiza el dimensionamiento de los transformadores y cables. Reduce también las pérdidas en las líneas y las caídas de tensión. Resumiendo, podemos clasificar los factores anteriormente mencionados en beneficios económicos y beneficios en los equipos cuando se hace un mejoramiento del factor de potencia entre estos podemos mencionar.

Beneficios en los equipos:

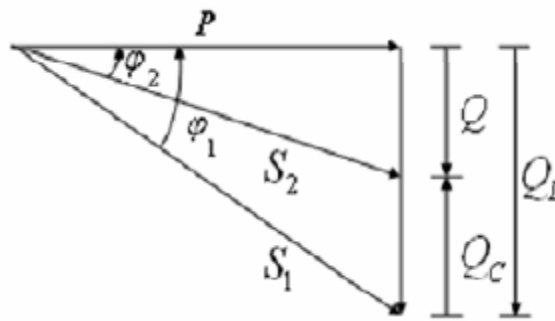
- Disminución de las pérdidas en conductores
- Reducción de las caídas de tensión
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores
- Incremento de la vida útil de las instalaciones

Beneficios económicos:

- Reducción de los costos por facturación eléctrica
- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia

## 1.1 Principio de compensación

Las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de reactivos se puede reducir e incluso anular si se colocan capacitores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.



**Figura 8:** Esquema de compensación del factor de potencia

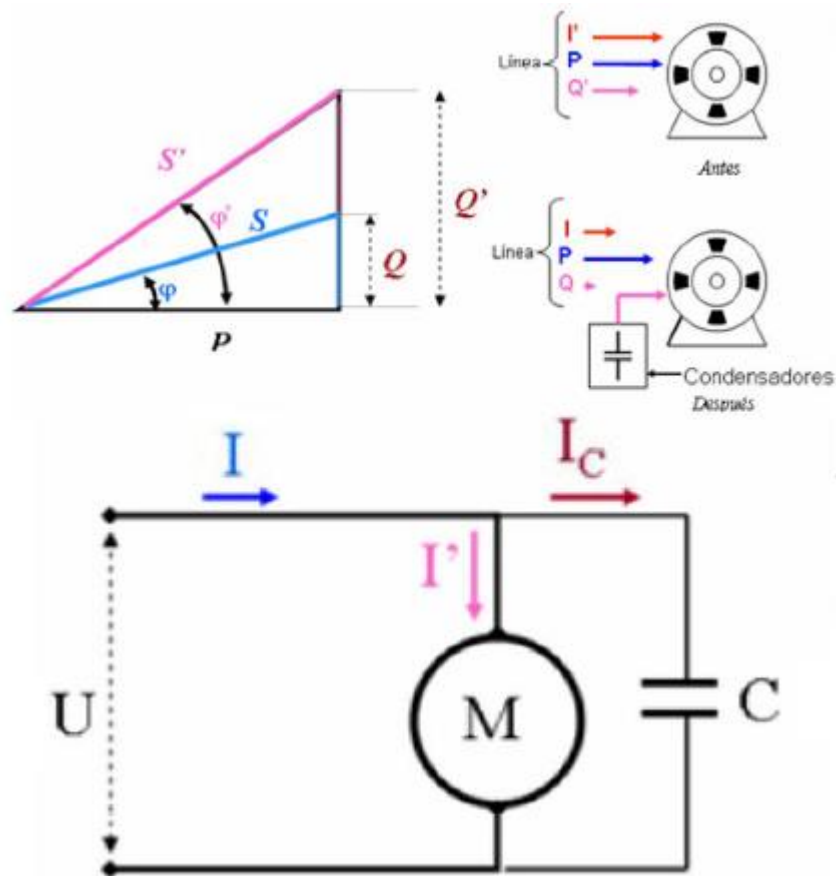
En la figura 8 se tiene que:

$Q_L$ : es la demanda de reactivos de un motor y  $S_1$  la potencia aparente correspondiente.

$Q_C$ : es el suministro de reactivos del capacitor de compensación

La compensación de reactivos no afecta el consumo de potencia activa, por lo que  $P$  es constante. Como efecto del empleo de los capacitores, el valor del ángulo  $\varphi_1$  se reduce a  $\varphi_2$ . La potencia aparente  $S_1$  también disminuye, tomando el valor de  $S_2$ . Al disminuir el valor del ángulo se incrementa el factor de potencia.

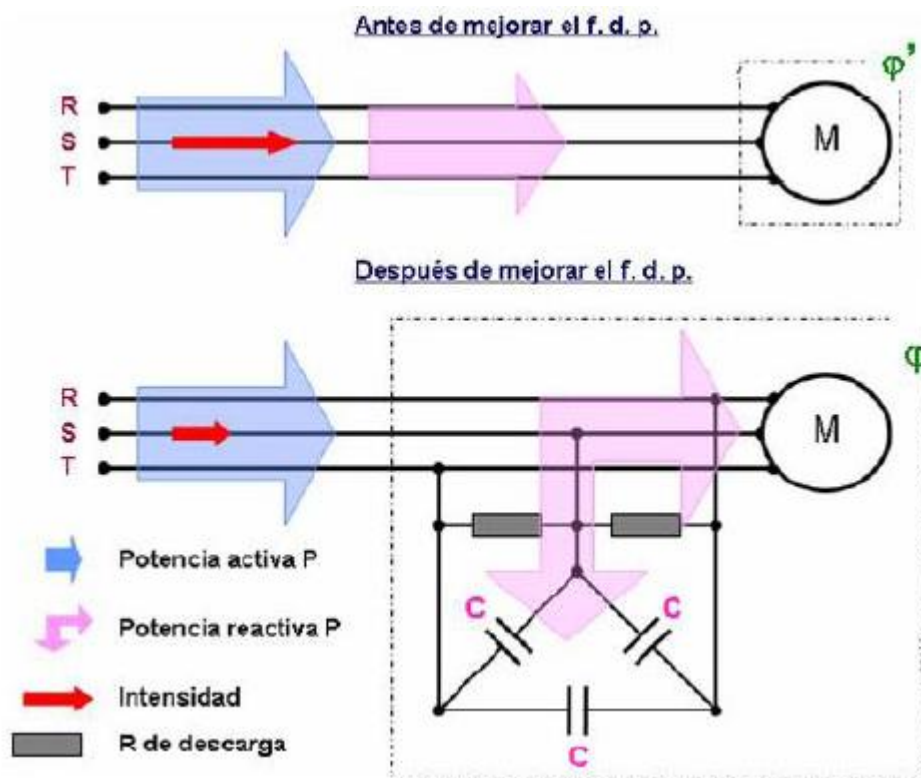
La Compensación del factor de potencia en un circuito monofásico, en el cual las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de potencia reactiva se puede reducir e incluso anular si se colocan condensadores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.



**Figura 9:** Compensación en un motor monofásico

La compensación del factor de potencia en un circuito trifásico, en el cual las cargas inductivas requieren potencia reactiva para su funcionamiento. Esta demanda de potencia reactiva se puede reducir e incluso anular si se colocan condensadores en paralelo con la carga. Cuando se reduce la potencia reactiva, se mejora el factor de potencia.





**Figura 10:** Compensación en un motor trifásico

## 1.2 Determinación del valor del capacitor

Para determinar la potencia óptima del banco de condensadores, es necesario tener en cuenta los elementos siguientes:

- Facturas de electricidad antes de instalar el banco
- Facturas provisionales de electricidad después de instalar el banco de condensadores
- Gastos relativos a la compra del banco de condensadores y su instalación

Se proponen 3 métodos simplificados para el cálculo de la potencia del equipo de compensación.

### 1.2.1 Método simplificado

Un cálculo muy aproximado es suficiente. Consiste en considerar que el  $\text{Cos}\phi$  de una instalación es en promedio de 0,8 sin compensación. Se considera que hay que subir el factor de potencia a  $\text{Cos}\phi = 0,93$  para eliminar las penalizaciones y compensar las pérdidas habituales de energía reactiva de la instalación. Para subir de este modo el  $\text{Cos}\phi$  en la tabla de multiplicadores de los kilowatts para corregir el factor de potencia (ver tabla 4) indica que, para pasar de  $\text{Cos}\phi = 0,8$  a  $\text{Cos}\phi = 0,93$ . La potencia del banco de condensadores a instalar (a la cabeza de la instalación). Será:

$Q \text{ (kVAR)} = \text{factor de corrección (tabla de multiplicadores de los kilowatts para corregir el factor de potencia)} * P \text{ (kW)}$ .

Factor de Potencia Existente	Factor de potencia corregido					
	100%	95%	90%	85%	80%	75%
50	1.732	1.403	1.247	1.112	0.982	0.850
52	1.643	1.314	1.158	1.023	0.983	0.761
54	1.558	1.229	1.073	0.938	0.808	0.676
55	1.518	1.189	1.033	0.898	0.768	0.636
56	1.479	1.150	0.994	0.859	0.729	0.597
58	1.404	1.075	0.919	0.784	0.654	0.522
60	1.333	1.004	0.848	0.713	0.583	0.451
62	1.265	0.936	0.780	0.645	0.515	0.383
64	1.201	0.872	0.716	0.581	0.451	0.319
65	1.168	0.839	0.683	<b>0.548</b>	0.418	0.286
66	1.139	0.810	0.654	0.519	0.389	0.257
68	1.078	0.749	0.593	0.458	0.328	0.196
70	1.020	0.691	0.535	0.400	0.270	0.138
72	0.964	0.635	0.479	0.344	0.214	0.082
74	0.909	0.580	0.424	0.289	0.159	0.027
75	0.882	0.553	0.397	0.262	0.132	
76	0.855	0.526	0.370	0.235	0.105	
78	0.802	0.473	0.317	0.182	0.052	
80	0.750	0.421	0.265	0.130		
82	0.698	0.369	0.213	0.078		
84	0.646	0.317	0.161			
85	0.620	0.291	0.135			
86	0.594	0.265	0.109			

**Tabla 4:** Tabla de multiplicadores de los kilowatts para corregir el factor de potencia

Esta relación permite hallar rápidamente un valor muy aproximado de la potencia de condensadores a instalar.

### 1.2.2 Método basado en los datos del recibo de electricidad

Datos obtenidos del recibo

- El periodo del recibo (1 mes, 2 meses,...)
- El consumo de energía activa (Kwh.), (suma de Kwh. correspondientes a activa, punta, valle y llano)
- Consumo de energía reactiva (KVARh)

Datos obtenidos en la instalación

- Cálculo de horas efectivas de funcionamiento al mes: (Ejemplo: h = 22días x 9 h/día = 189 h/mes)
- Cálculo según estos datos:

$$\text{Cos}\phi_{\text{inicial}} = \frac{\text{kWh}}{\sqrt{(\text{kWh})^2 + (\text{kVARh})^2}}$$

Potencia activa consumida en el periodo

$$P = \frac{\text{kWh (consumo de energía activa en el periodo)}}{\text{Periodo recibo} \cdot \text{horas efectivas de funcionamiento}}$$

A partir de la potencia activa, el  $\text{Cos}\phi$  inicial y el  $\text{Cos}\phi$  deseado, según los puntos Método simplificado o Método basado en el cálculo de potencias se podrá calculara Q necesaria.

### 1.2.3 Método basado en el cálculo de potencias

#### Datos conocidos

- Potencia activa (kW)
- $\cos\phi$  inicial
- $\cos\phi$  deseado

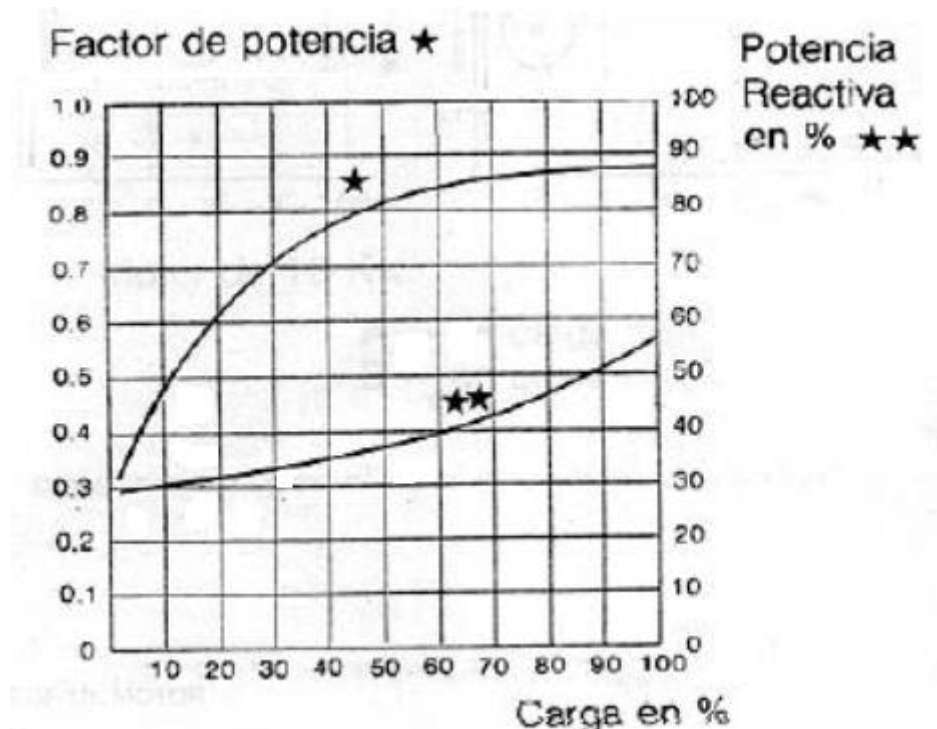
#### Cálculo

$$Q \text{ (KVAR)} = \text{Potencia activa (kW)} * (\tan\phi \text{ inicial} - \tan\phi \text{ deseada})$$

### 1.3 Problemas con motores

#### 1.3.1 Factor de potencia de motores asíncronos

Además de la potencia activa, el motor asíncrono también requiere potencia reactiva para la magnetización de los bobinados. Esta potencia reactiva es prácticamente independiente de la carga del motor. Ello supone que la relación entre la potencia activa y la potencia reactiva, disminuye con la carga y que el factor de potencia también disminuye.



**Figura 11:** Factor de potencia versus potencia reactiva

Al mismo tiempo, un aumento en la corriente de magnetización obtenido por el aumento del voltaje aplicado, conducirá a una disminución del factor de potencia, por otro lado para valor de potencia iguales, un motor operando en baja velocidad demandará una corriente de magnetización alta en relación con un motor de alta velocidad, el motor en baja velocidad tendrá, por lo tanto, un factor de potencia bajo en relación con un motor de alta velocidad.

### 1.3.2 Compensación central

El caso más desfavorable ocurre cuando existe un solo motor conectado a la red de alimentación. En el instante de conmutación aparece un sobre voltaje que puede ser evaluado con los diagramas dados previamente. Este voltaje cae rápidamente a cero. La velocidad del motor y la frecuencia, disminuyen.

Es posible que pueda haber resonancia entre la inductancia de fuga y el capacitor en un cierto valor de esta frecuencia variable (en función de la velocidad). Un nuevo sobre voltaje aparecerá de repente, este sobre voltaje puede causar ruptura en el motor, en el capacitor, etc. En resumen esta demanda de potencia repentina bloqueará el rotor y puede conducir a un daño mecánico.

Este sobre voltaje puede ser producido considerablemente si la carga tiene un valor suficientemente alto o si existen bobinas saturadas en el circuito. Este caso de compensación general con capacitores fijos, es deseable conectar los capacitores a la salida del transformador, por ejemplo, antes del interruptor de bajo voltaje.

También es posible diseñar el circuito del capacitor con un relevador de voltaje mínimo o usar bancos automáticos (que en nuestro caso tiene un relevador de voltaje cero) y los cuáles serán en cualquier momento adaptables a la potencia capacitiva de acuerdo al requerimiento del sistema evitando así, la auto-excitación de los motores.

## 1.4 Instalación de capacitores

No olvide que algunos medidores de energía reactiva miden tanto energía capacitiva, como inductiva. La última meta en la corrección del factor de potencia es reducir los Kvar y así mismo el costo que se percibe por ella en la factura eléctrica.

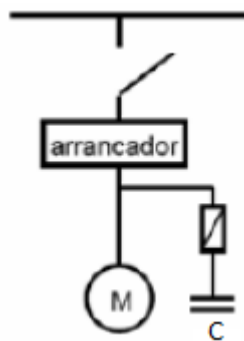
Para hacer esto es necesario distribuir las unidades capacitoras, dependiendo de su utilización, en el lado del usuario del medidor de potencia.

Las unidades capacitoras pueden ser instaladas en varios puntos de la red de alimentación de una planta. Cuatro tipos de instalaciones principales pueden distinguirse:

- Compensación individual
- Compensación en grupo
- Compensación central
- Compensación combinada

### 1.4.1 Compensación individual

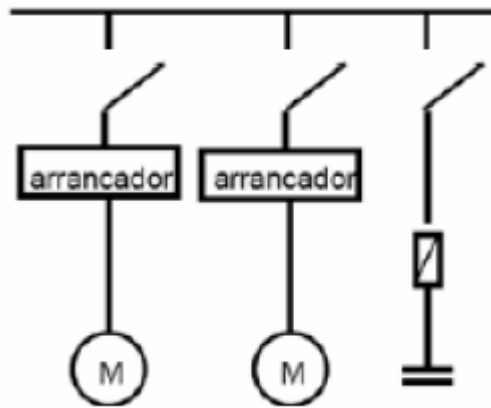
La compensación individual se refiere a que cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. La compensación individual es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo.



**Figura 12:** Diagrama de compensación individual

### 1.4.2 Compensación en grupo

Es aconsejable compensar la potencia inductiva de un grupo de cargas, cuando éstas se conectan simultáneamente y demandan potencia reactiva constante, o bien cuando se tienen diversos grupos de cargas situados en puntos distintos.

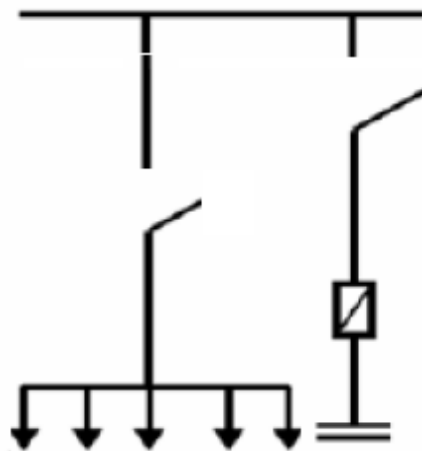


**Figura 13:** Diagrama de compensación en grupo

### 1.4.3 Compensación central

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación.

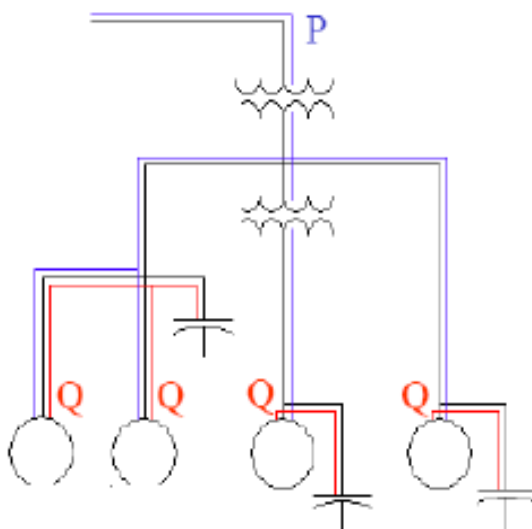
La potencia total del banco de capacitores se divide en varios bloques que están conectados a un regulador automático de energía reactiva, que conecta y desconecta los bloques que sean necesarios para obtener el factor de potencia previamente programado en dicho regulador.



**Figura 14:** Diagrama de compensación central

#### 1.4.4 Compensación combinada

Este tipo de compensación es aquella en la cual se utilizan dos o más de las expuestas anteriormente, es decir, compensación individual, compensación central o compensación en grupo.



**Figura 15:** Diagrama de compensación combinada



#### 1.4.5 Localización de capacitores

Para la instalación de los capacitores deberán tomarse en cuenta diversos factores que influyen en su ubicación como lo son: La variación y distribución de cargas, el factor de carga, tipo de motores, uniformidad en la distribución de la carga, la disposición, longitud de los circuitos y la naturaleza del voltaje.

Se puede hacer una corrección del grupo de cargas conectando en los transformadores primarios y secundarios de la planta, por ejemplo, en un dispositivo principal de distribución o en una barra conductora de control de motores.

La corrección de grupo es necesaria cuando las cargas cambian radicalmente entre alimentadores y cuando los voltajes del motor son bajos, como por ejemplo, 230 V.

Cuando los flujos de potencia cambian frecuentemente entre diversos sitios de la planta y cargas individuales, se hace necesario efectuar la corrección primero en una parte de la planta, verificar las condiciones obtenidas y después compensar en la otra.

Sin embargo, es más ventajoso usar un capacitor de grupo ubicado lo más equidistante que se pueda de las cargas. Esto permite la desconexión de una parte de los capacitores de acuerdo a condiciones específicas de cargas variables.

Cuando la longitud de los alimentadores es considerable, se recomienda la instalación de capacitores individuales a los motores, por supuesto se necesitarán varios condensadores de diferentes capacidades, resultando esto en un costo mayor. Sin embargo deberá evaluarse el beneficio económico obtenido con la compensación individual. Considerando que el costo de los capacitores para bajos voltajes es más del doble que los de altos voltajes.

Debemos también considerar que, cuando los capacitores se instalan antes del banco principal de transformadores, éstos no se benefician y no se alivia su carga en KVA. Esta es una buena razón para usar capacitores de 230 V a pesar de su alto costo.

Correcciones aisladas: La corrección aislada del factor de potencia se debe hacer conectando los capacitores tan cerca como sea posible de la carga o de las terminales de los alimentadores.

Debe recordar que la corrección se lleva a cabo sólo del punto considerado a la fuente de energía y no en dirección opuesta. Los capacitores instalados cerca de las cargas pueden dejar de operar automáticamente cuando las cargas cesan, incrementan el voltaje y por ende el rendimiento del motor.

#### **1.4.6 Aspectos a ser tomados en cuenta**

##### Capacidad de conducción de corriente de la instalación

La corriente nominal de los cables o barras conductoras, equipos de conexión y desconexión, cuchillas, etc. Debe ser, como mínimo, el 135% de la corriente nominal capacitiva que soportan. Con excepción de los fusibles cuya corriente nominal no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal de los condensadores.

##### Voltaje nominal del equipo accesorio

El voltaje nominal de los contactores, interruptores, cuchillas, desconectores, fusibles, etc. no debe ser inferior al voltaje de línea a la que estén conectados a los condensadores.

##### Tipos de instalación

Los condensadores pueden ser instalados al interior, o a la intemperie, si han sido fabricados por soportar este tipo de operaciones.

##### Instalación al interior

Las partes vivas de los condensadores quedan protegidos por medio de cubiertas o gabinetes que impidan el contacto directo con personas u otros equipos.

### Instalaciones a la intemperie

En caso de no usarse cubiertas de protección o gabinetes, los condensadores deben instalarse protegidos por medio de una cerca o montados sobre una estructura elevada que deje las partes vivas a la altura reglamentaria correspondiente, según el voltaje. Los condensadores tipo intemperie deben contar con un acabado, clase aislado y nivel básico de impulso para este uso. Se consideran recomendable 1,2 KV. De su aislamiento y 30 KV. De nivel básico de impulso.

### Dispositivo de descarga

Los condensadores deben contar con un dispositivo de descarga que asegure que el voltaje entre bornes de baja a 50 voltios o menos durante el primer minuto después de su desconexión. Este dispositivo puede ser interno o externo a los tanques de los condensadores y pueden estar conectado permanentemente, o bien conectarse automáticamente al salir de la operación los condensadores.

El accionamiento de los dispositivos de descarga no debe efectuarse manualmente. Los devanados de motores o transformadores, conectados en paralelo con los condensadores, pueden considerarse como dispositivos de descarga eficaces, siempre que no exista un equipo de desconexión o fusibles internos entre dichos devanados y los condensadores.

### Operación rápida de conexión y desconexión

No es recomendable volver a conectar en línea un condensador que se encuentre todavía cargado. Estas implicaciones especiales, tales como la corrección del factor de potencia de motores para grúas y elevadores, bancos de condensadores de secciones desconectables que entran y salen rápidamente de operación, por medio de un control automático, que es posible que haya que volver a conectar condensadores que acaban de salir de operación.

En estos casos es recomendable instalar dispositivos especiales de descarga rápida, que sean capaces de descargar los condensadores en pocos segundos antes de que vuelvan a entrar en operación, o bien, usar equipo de conexión y desconexión provisto de un aditamento capaz de limitar las sobre corrientes y sobre voltajes transitorios asociados con la conexión de los condensadores.

#### Bancos de condensadores fijos

Al instalar bancos de condensadores fijos, o bancos que van a quedar permanentemente conectados a la línea deben instalarse cuchillas desconectores que permitan desconectar los condensadores durante las operaciones de mantenimiento sin que sea necesario paralizar el resto de la instalación.

#### Bancos de condensadores desconectables

Al instalar bancos desconectables, es decir, bancos que entran y salen de operación con cierta frecuencia operado manual o automáticamente, deben conectarse cuchillas desconectores que permitan desconectar tanto condensadores y equipos de conexión y desconexión, a fin de facilitar el mantenimiento de ambos equipos.

#### Disposición de los condensadores

Los condensadores deben instalarse respetando las distancias mínimas entre condensador y condensador que recomienda los fabricantes de los mismo y en una disposición tal que sean fácilmente desconectables y reemplazables, a fin de facilitar la buena y continua operación de los condensadores.

#### Puesta a tierra de los tanques

Los tanques de condensadores así como la cubierta o gabinetes que sirvan de protección de sus partes vivas, deben instalarse conectados a tierra.

### Corrección de factor de potencia para motores de inducción

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose condensadores entre el motor y su equipo de arrastre y parada, la potencia reactiva de los condensadores no debe exceder a la necesaria corrección del factor de potencia del motor por unidad, en condiciones de marcha en vacío.

### Recalibración de los elementos térmicos de motores de inducción compensados por condensadores

Cuando se compensan individualmente motores de inducción instalándose los condensadores entre el motor y su dispositivo de protección térmica, deben recalibrarse los elementos teniendo en cuenta la nueva corriente que toma el motor con el factor de potencia corregido.

### Compensación de transformadores

Cuando se corrige el factor de potencia de un transformador con un condensador instalado en el secundario del mismo, y existe la posibilidad de que los condensadores y el transformador trabajen en vacío, la potencia reactiva de los condensadores expresada en KVAR no debe exceder del 10% de la potencia nominal del transformador, expresada en KVA.

### Ventilación

Los condensadores deben instalarse de forma que la ventilación por convección no quede entorpecida por ningún obstáculo. Cuando los condensadores se instalen dentro de un gabinete, puede ser conveniente hacerlo funcionar con ventilación forzada.

En cualquier caso, las temperaturas ambiente del local o del interior del gabinete donde se encuentren funcionando los condensadores, no deben sobrepasar los límites recomendados por las normas del fabricante del mismo.

No es recomendable instalar los condensadores cerca de superficies radiadoras de calor cuya temperatura sea superior a la temperatura ambiente.

#### Frecuencia y voltaje de operación

Los condensadores pueden ser operados a frecuencias y voltajes inferiores a sus valores nominales. Esto implica una disminución de la potencia reactiva proporcionada, que es directamente proporcional a la frecuencia y al cuadrado del voltaje.

Sin embargo, los condensadores, no deben colocarse en frecuencias o voltajes superiores a sus valores nominales. La fluctuaciones de voltaje no deben exceder los límites superiores permitidos especificados por los fabricantes de los condensadores. En condensadores tipo intemperie este límite será 10% de sobre voltaje, con respecto al voltaje nominal de los condensadores.

#### Protección

Los condensadores deben instalarse con dispositivos de protección contra sobre corrientes que provengan tanto de fallas de un condensador, como cualquier cortocircuito de la instalación. La capacitancia interruptiva de estos dispositivos debe ser la adecuada para magnitud de sobre corrientes que deban relevar y debe planearse el que actúen con mayor velocidad que resulta práctica. Cuando los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de protección, no es necesario instalar un dispositivo especial para los condensadores.

#### Protección con fusibles

Pueden usarse fusibles de potencia tipo estándar tanto para la protección general de la instalación como para la protección individual de los condensadores. La protección general debe efectuarse con tantos fusibles como líneas energizadas existan.

Las protecciones individuales de los condensadores monofásicos pueden efectuarse con un solo fusible por condensador y la de los condensadores trifásicos con dos fusibles por condensador. Si los condensadores llevan instalados fusibles internos, pueden instalarse la protección individual. La corriente nominal de los fusibles no debe ser inferior al 165% de la corriente nominal capacitiva que soporten.

#### Protección con interruptores

Pueden usarse interruptores magnéticos o termo-magnéticos. O cualquier otro tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar siempre que se tomen en cuenta los márgenes de corriente especificados por el fabricante de los equipos al ser operados con cargas capacitivas puras. La corriente nominal del interruptor en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

#### Conexión y desconexión

Los condensadores deben instalarse con un dispositivo de desconexión capaz de interrumpir la corriente de cada uno de los conductores energizados, con la excepción del caso en que los condensadores se instalen entre un motor eléctrico y su dispositivo de conexión y desconexión.

En este caso, el dispositivo de conexión y desconexión del motor pueden servir para operar el motor y los condensadores juntos. No es necesario que el dispositivo de desconexión interrumpa al mismo tiempo la corriente de todos los conductores energizados.

Como dispositivo de conexión y desconexión pueden usarse cuchillas, contactores magnéticos o termo-magnéticos, o cualquier tipo de interruptores de potencia para baja tensión de uso estándar, siempre que se tome en cuenta las especificaciones del fabricante en estos equipos al ser operados para cargas capacitivas puras.

La corriente nominal del dispositivo de conexión y desconexión en ningún caso debe ser inferior al 135% de la corriente nominal de los condensadores.

El dispositivo de conexión y desconexión debe ser capaz de soportar en posición de contactores cerrados, la corriente de cortocircuito del sistema en el punto donde se encuentren instalados los condensadores, aun cuando no esté planeado o no sea capaz de interrumpir dichas corrientes de cortocircuito.

### Control

Cuando se instalen condensadores que entren y salgan de operación automáticamente, debe tenerse especial cuidado en la selección según las fluctuaciones de los valores del factor de potencia a fin de cumplir con los niveles y esquemas de compensación reactiva que se deseen. Instalación en condiciones anormales de operación. Se considera como condiciones anormales de operación:

- Exposición a choques mecánicos o vibraciones
- Exposición a superficies radiadoras de calor, que se encuentran a temperaturas superiores a la temperatura ambiente
- Montaje que dificulte la ventilación de los condensadores
- Operación a temperaturas ambientes más altas que la temperatura ambiente permisible según la norma de fabricación de los condensadores
- Operación a altitudes mayores de los 1800 metros sobre el nivel del mar
- Operaciones de redes con forma de onda de voltaje distorsionada

En estos casos, se considera recomendable que el fabricante de los condensadores sea puesto en antecedentes de las condiciones en que se pretende operar.



### Instalación en zonas peligrosas

Se consideran zonas peligrosas:

- Atmósferas con humo o vapores corrosivos
- Atmósferas con polvo o vapores conductores, inflamables o explosivos

En estos casos deben tomarse medidas de seguridad reglamentarias y poner antecedentes al fabricante de los condensadores.

### Datos de placa de características

Los condensadores deben ir provistos de placas de características que indiquen:

- Nombre del fabricante
- Voltaje nominal del condensador(voltaje aplicable entre bornes)
- Potencia reactiva nominal, o bien corriente nominal por fase
- Frecuencia
- Numero de fases
- Tipo de conexión cuando los condensadores sean trifásicos
- Numero de catálogo o especificación del fabricante
- Número de serie del condensador
- Tipo de impregnaste y numero de litros cuando este sea combustible
- Indicación de si el condensador cuenta o no con un dispositivo de descarga interno

### Precauciones con condensadores impregnados con askareles

Los condensadores impregnados con askareles deben llevar una placa especial en donde se indique que el impregnante es un elemento contaminante del medio ambiente y que no debe ser arrojado a los caños del drenaje.

#### 1.4.7 Compensación de un motor individual

El método de compensación individual es el tipo de compensación más efectivo ya que el capacitor se instala en cada una de las cargas inductivas a corregir, de manera que la potencia reactiva circule únicamente por los conductores cortos entre el motor y el capacitor.

La compensación individual presenta las siguientes ventajas:

- Los capacitores son instalados cerca de la carga inductiva, la potencia reactiva es confinada al segmento más pequeño posible de la red
- El arrancador para el motor puede también servir como un interruptor para el capacitor eliminando así el costo de un dispositivo de control del capacitor solo
- El uso de un arrancador proporciona control semiautomático para los capacitores, por lo que no son necesarios controles complementarios
- Los capacitores son puestos en servicio sólo cuando el motor está trabajando
- Todas las líneas quedan descargadas de la potencia reactiva
- El costo de varios capacitores por separado es mayor que el de un capacitor individual de valor equivalente
- Existe subutilización para aquellos capacitores que no son usados con frecuencia

Es importante mencionar que para no incurrir en una sobre compensación de la potencia inductiva que provoque alteraciones en el voltaje que puedan dañar la instalación eléctrica, la potencia del banco de capacitores deberá limitarse al 90% de la potencia reactiva del motor en vacío.

### Tamaño del capacitor

La potencia del capacitor a conectar directamente con el motor puede ser determinado de acuerdo a uno de los siguientes métodos:

- Multiplicar por 1/3 el valor del motor expresado en hp
- El 40% de la potencia del motor en Kw
- Consultar tablas con valores recomendados por NEMA (NationalElectricalManufacturersAssociation)

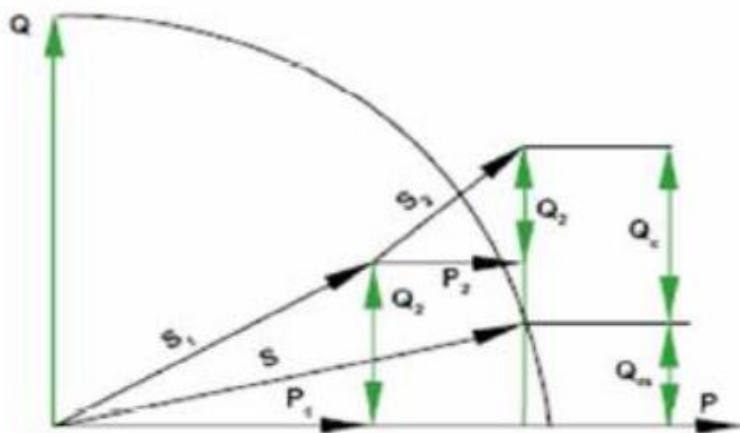
Existen tablas que contienen las potencias máximas sugeridas de los capacitores (kVAR) para la compensación individual de motores en baja tensión. Cabe destacar que la compensación individual de motores menores de 10 kW generalmente no se utiliza.

#### 1.4.8 Compensación de un transformador individual

Compensación e incremento de la potencia de un transformador

La instalación de una batería de condensadores puede evitar el cambio de un transformador por una simple ampliación de carga. La potencia activa disponible en el secundario de un transformador es mayor a medida que el factor de potencia se acerque al máximo  $\cos\phi$ .

Es interesante este fenómeno, puesto que puede darse el caso que para una pequeña ampliación no sea necesario cambiar el transformador, sólo mejorar el factor de potencia.



**Figura 16:** La compensación  $Q_c$  permite la ampliación  $S_2$  sin tener que cambiar el transformador

#### 1.4.9 Compensación de la energía reactiva propia de un transformador

La energía reactiva que consume un transformador no es despreciable (del orden del 5%); ella puede ser suministrada por una batería de condensadores. La cantidad de energía (reactiva) que absorbe es función de la corriente magnetizante en vacío o en carga.

Para los transformadores de alimentación y la contratación en MT, es importante, para reducir los recargos y las pérdidas, compensar dicho consumo. Por tanto sólo consideraremos la función de los transformadores para cambios de tensión BT/BT o de régimen de neutro.

La compensación de los BT/BT puede realizarse a los bornes del transformador sin regulación automática, para el valor en vacío y las variaciones correspondientes a la carga por una compensación general regulable. Un transformador absorbe energía (reactiva) para asegurar su función.

## 10. Cálculo del banco de capacitores en la industria Yanber

Con el analizador de carga FLUKE POWER QUALITY ANALYZER 43B, se han obtenidos datos de la planta de los parámetros eléctricos como: potencia aparente(S), potencia reactiva (Q), potencia activa (P), factor de potencia (FP), además se han obtenido las curvas del comportamiento de los parámetros eléctricos que se muestran en el anexo B ; esto se ha logrado mediante el software del equipo del analizador de carga que permaneció tomando mediciones, durante un período de tiempo que va desde el 21 de marzo al 26 de marzo del 2015.

Con todos estos parámetros eléctricos y los datos obtenidos en el levantamiento de campo, se procederá al diseño del banco de condensadores y al cálculo del valor de los condensadores en kVAr, que permitirá realizar la corrección del factor de potencia en el caso que lo necesite el sistema eléctrico de la planta.

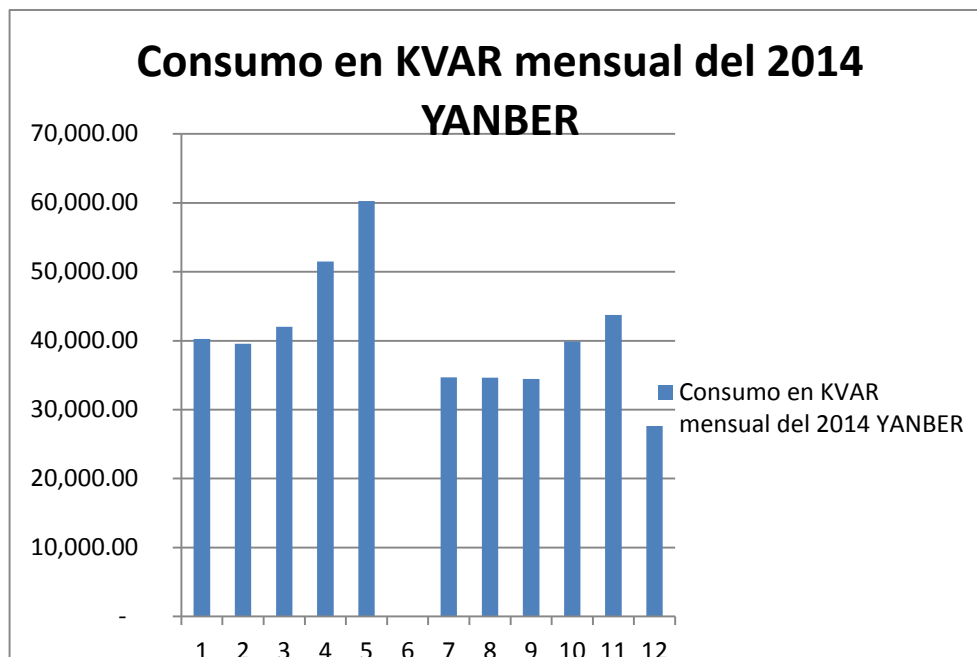
Los datos que desplegó el analizador de carga se muestran en la tabla 5, los cuales fueron obtenidos del software **Power Quality Analyzer 43B (Ver anexo B)** del analizador de carga. De esta manera el analizador de carga toma mediciones de los parámetros eléctricos, de manera instantánea; los mismos que facilitarán el análisis al obtener una mayor información de las variaciones de los parámetros eléctricos.

Una vez obtenidos estos datos se procedió a seleccionar parámetros eléctricos como: potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia. Estos datos se tomaron del periodo del 21 de marzo al 26 de marzo, para ser analizados y poder determinar cuanta potencia reactiva requiere la empresa y cómo varía el factor de potencia a diferentes horas del día.

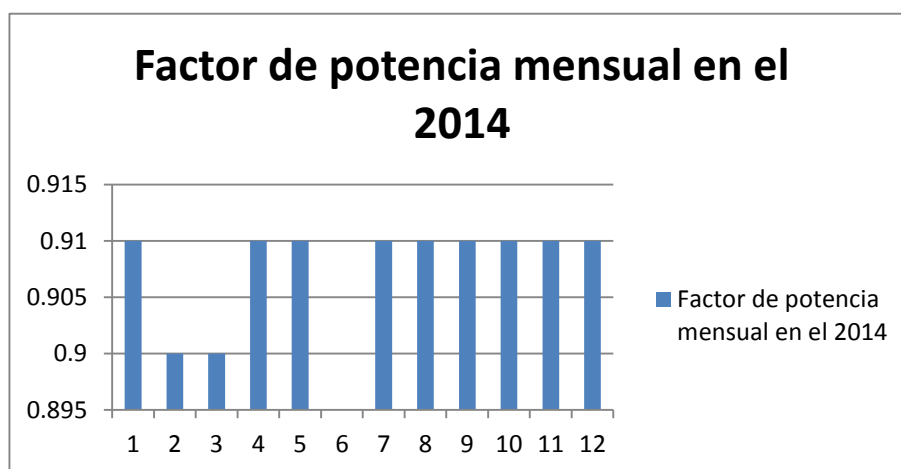
Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP	I (Amp)
Panel 1	86,2	32	92	0,90	200
Panel 2	50,7	25,5	56,8	0,88	174,6
Panel 3	38,8	15,5	41,8	0,89	100

**Tabla 5:** Medición de parámetros eléctricos en la Planta Yanber

Otros datos importantes de analizar son el historial de consumo de energía reactiva y el comportamiento del factor de potencia de la planta en el año 2014 mostrado en la figura 17 y 18.



**Figura 17:** Consumo en Kvar mensual de la planta Yanber en 2014



**Figura 18:** Factor de potencia mensual de la planta Yanber en 2014

## **A. Cálculo del banco de condensadores trifásico**

Con los parámetros eléctricos que se adquirieron con el analizador de carga mostrados en el anexo B: los valores de potencia activa, potencia reactiva y factor de potencia se procederá a realizar el diseño del banco de condensadores para la corrección del factor de potencia en la Empresa Yanber.

Estos parámetros permitirán seleccionar el tipo de banco de condensadores a utilizar, es decir, si se va a utilizar una compensación fija o una compensación variable automática; además se podrá seleccionar el valor de la potencia reactiva en kVAr del banco de condensadores, esta selección dependerá de la curva de carga, de la demanda de potencia reactiva y del factor de potencia de la empresa.

## **B. Cálculo de la potencia reactiva en kvar para la corrección del factor de potencia**

Este cálculo permitirá obtener el valor de los kVAr necesarios para no tener penalizaciones por un bajo factor de potencia y obtener beneficios técnicos económicos. A continuación se muestra el proceso para obtener el valor de la potencia reactiva necesaria que corregirá el factor de potencia.

Con los datos obtenidos por el analizador de carga mostrada en el anexo B y (Tabla 5), se procederá a calcular los kVAr necesarios en el período de tiempo de análisis. Con la ayuda de la tabla 6 (En anexo), se obtendrán los kVAr necesarios que requiere la planta para corregir el factor de potencia y no incurrir en penalizaciones.

Los datos a utilizar para obtener la potencia reactiva expresada en VAr (voltamperios reactivos) son: la potencia activa en vatios (P), el  $\cos\phi$  inicial (tomado por el analizador de carga), el ángulo  $\phi$  inicial y el ángulo  $\phi$  final ( $\cos\phi$  final deseado 0,96) , a continuación en la Tabla 7 se muestra el resumen y el valor en faradio de los bancos de capacitores .

	Actual					Corregido			Banco en micro Faradio
Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP	I (Amp)	KW	KVAR	FP	
Panel 1	86,2	32	92	0,9	200	86,2	16,61	0,96	832,73
Panel 2	50,7	25,5	56,8	0,88	174,6	50,7	12,58	0,96	630,68
Panel 3	38,8	15,5	41,8	0,89	100	38,8	8,56	0,96	429,29
	f(Hz)	60		Voltaje	230				

**Tabla 7:** Medición de parámetros eléctricos en la Planta Yanber

Entonces según la tabla 7, se necesitará una potencia reactiva de 16.61 kVAr que asegurará un factor de potencia de 0,96 para el panel 1, una potencia reactiva de 12.58 kVAr que asegurara un factor de potencia de 0.96 para el panel 2 y una potencia reactiva de 8.56 kVAr que asegurara un factor de potencia de 0.96 para el panel 3.

La potencia reactiva a compensar es totalmente variable de acuerdo a los cálculos del Anexo B, con los datos de la tabla 7 se procederá a realizar la selección del tipo de compensación, que por ser variable el FP, sería mejor automático con lo que se realizará la corrección del factor de potencia.

Por tanto el ajuste del parámetro C/K permitirá el accionamiento de los pasos siguientes, una vez accionado el primer paso y si el controlador de factor de potencia detecta un  $\cos\phi$  medio, accionará el siguiente paso y se tendrá una potencia reactiva mayor. De igual manera cuando el controlador de factor de potencia detecte un valor de  $\cos\phi$  mínimo accionará el siguiente paso. Finalmente se logrará que en cualquier momento del día se tenga un factor de potencia lo más cercano a 0,96. Como se muestra en la tabla 8.

#### Ahorros

Paneles de Distribución	KW	KVAR	KVA	FP
Panel 1	86,2	16,61	<b>87,78</b>	0,96
Panel 2	50,7	12,58	<b>52,23</b>	0,96
Panel 3	38,8	8,56	<b>39,73</b>	0,96

**Tabla 8:** Cálculos de ahorros en KVar



## **Características de tarifas horarias T3-MTH y T3-BTH según normas Nicaragua**

Para los clientes de Grandes Demandas se efectuará la medición de energía por bloque horario típico, la medición de la demanda máxima de potencia en el bloque horario de punta, y la demanda máxima de potencia en el período fuera de punta. Las tarifas por el servicio convenido en cada punto de entrega y opción tarifaria, estarán compuestas por:

- Un cargo fijo mensual, independiente de los consumos registrados, de acuerdo a la capacidad de suministro contratada.
- Un cargo por cada kW de la capacidad de suministro en punta convenida, haya o no consumo de energía.
- Un cargo por cada kW de la capacidad de suministro fuera de punta convenida, haya o no consumo de energía.
- Un cargo por la energía eléctrica entregada, de acuerdo con el consumo registrado en cada uno de los bloques horarios: punta, madrugada y horas restantes.
- Si correspondiere, un recargo por factor de potencia.

### **Cargo por bajo factor de Potencia.**

Cargo por factor de potencia. Se aplica sólo a servicios con medición dereactiva cuando el factor de potencia registrado es menor de 0.85.

En este caso no existe penalización por bajo factor de potencia, por lo tanto resultaría costoso compensar la energía reactiva de los equipos y esta inversión no será reflejada en la factura eléctrica.

## 11. Conclusiones

Cargo por factor de potencia. Se aplica sólo a servicios con medición de reactiva cuando el factor de potencia registrado es menor de 0.85.

En el diagnóstico realizado a la empresa YANBER en los parámetros eléctricos como: Voltaje, corriente, potencia y factor de potencia, se llega al resultado que dicha empresa no se encuentra en penalización por bajo factor de potencia, ya que su factor de potencia actual oscila entre 0.89 y 0.90, por lo tanto resultaría costoso compensar la energía reactiva de los equipos y esta inversión no será reflejada en la factura eléctrica.

Según la hipótesis planteada: "Se puede instalar un banco de capacitores que mejore la eficiencia eléctrica de la planta reduciendo así los costos de operación", en el caso de la empresa Yanber no es necesario la instalación del banco de capacitores ya que el factor de potencia en el sistema eléctrico es de 0.89 por tanto la inversión sería muy grande para el posible ahorro y el ente regulador exige un factor de potencia de 0.85 el cual esta normado.

En este estudio no amerita realizar el estudio financiero para la instalación del banco de capacitores, la inversión es muy alta según el anexo C, cada banco de capacitores cuesta alrededor de \$ 5000 dólares cada uno.

Al corregir el factor de potencia disminuyen las corrientes que circulan por los conductores, al mismo tiempo disminuyen las pérdidas por Efecto Joule, que al final, se traducen en un ahorro anual de 4.59% del consumo eléctrico.

## 12. Bibliografía

1. Guía de utilización de los condensadores BT. MerlingGering.
2. ASEA Brown Boveri ABB Equipos y Sistemas, S.A. de C.V. México. *Corrección de factor de potencia con capacitores*. Catálogo BJ 90-01 SP. México: 2001 p.31-48.
1. OSPINO, Paulo Andrés. Corrección del Factor de Potencia y Reducción de Pérdidas de Energía Mediante el Diseño y la Instalación Optima de Banco de Capacitores en la Red de Alimentación. Universidad de Pamplona, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2007. p. 20-150.
2. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
3. Effect of power factor on equipment size. Bulletin D-412C. Square company
4. Guía para la corrección del factor de potencia para el ingeniero de planta. manual SPRAGUE Electric Com.
5. Nassirsapagchain. Preparación y Evaluación de Proyectos 2da Edición.
6. KUSKO, Alexander y Marc T, Thompson. Power Quality in Electrical System. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, 2007. p. 241.

### 13. Anexos

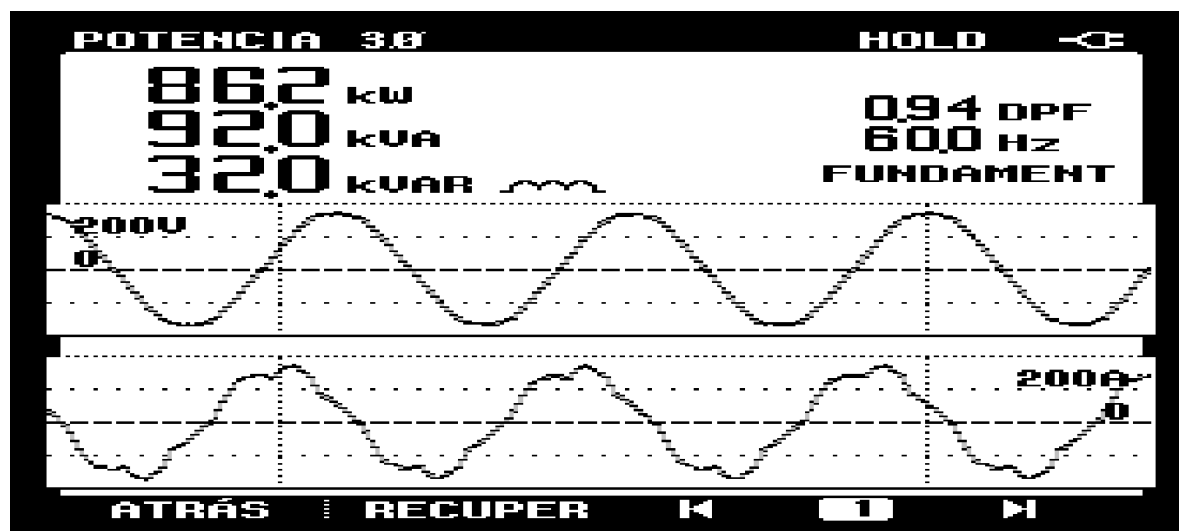
#### Anexos A: Tabla de índice de multiplicador

Cos $\varphi$	0,87	0,88	0,89	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1
0,40	1,7246	1,7515	1,7790	1,8070	1,8357	1,8653	1,8961	1,9283	1,9626	1,9996	2,0407	2,0882	2,1488	2,2913
0,41	1,6579	1,6849	1,7123	1,7403	1,7690	1,7986	1,8294	1,8616	1,8959	1,9329	1,9740	2,0215	2,0821	2,2246
0,42	1,5940	1,6210	1,6485	1,6764	1,7052	1,7348	1,7655	1,7978	1,8321	1,8691	1,9101	1,9577	2,0183	2,1608
0,43	1,5329	1,5599	1,5873	1,6153	1,6440	1,6736	1,7044	1,7367	1,7709	1,8079	1,8490	1,8965	1,9571	2,0996
0,44	1,4742	1,5012	1,5286	1,5566	1,5853	1,6149	1,6457	1,6780	1,7122	1,7492	1,7903	1,8378	1,8984	2,0409
0,45	1,4178	1,4448	1,4722	1,5002	1,5289	1,5585	1,5893	1,6216	1,6558	1,6928	1,7339	1,7814	1,8420	1,9845
0,46	1,3635	1,3905	1,4179	1,4459	1,4746	1,5043	1,5350	1,5673	1,6016	1,6386	1,6796	1,7272	1,7878	1,9303
0,47	1,3113	1,3383	1,3657	1,3937	1,4224	1,4520	1,4828	1,5151	1,5493	1,5863	1,6274	1,6750	1,7355	1,8780
0,83	0,1053	0,1323	0,1597	0,1877	0,2164	0,2460	0,2768	0,3091	0,3433	0,3803	0,4214	0,4689	0,5295	0,6720
0,84	0,0792	0,1062	0,1336	0,1616	0,1903	0,2199	0,2507	0,2830	0,3173	0,3543	0,3953	0,4429	0,5034	0,6459
0,85	0,0530	0,0800	0,1074	0,1354	0,1641	0,1937	0,2245	0,2568	0,2911	0,3281	0,3691	0,4167	0,4773	0,6197
0,86	0,0266	0,0536	0,0810	0,1090	0,1378	0,1674	0,1981	0,2304	0,2647	0,3017	0,3427	0,3903	0,4509	0,5934
0,87	0,0000	0,0270	0,0544	0,0824	0,1111	0,1407	0,1715	0,2038	0,2380	0,2751	0,3161	0,3637	0,4242	0,5667
0,88	-0,0270	0,0000	0,0274	0,0554	0,0841	0,1137	0,1445	0,1768	0,2111	0,2481	0,2891	0,3367	0,3973	0,5397
		-												
0,89	-0,0544	0,0274	0,0000	0,0280	0,0567	0,0863	0,1171	0,1494	0,1836	0,2206	0,2617	0,3093	0,3698	0,5123
		-	-											
0,90	-0,0824	0,0554	0,0280	0,0000	0,0287	0,0583	0,0891	0,1214	0,1556	0,1927	0,2337	0,2813	0,3418	0,4843

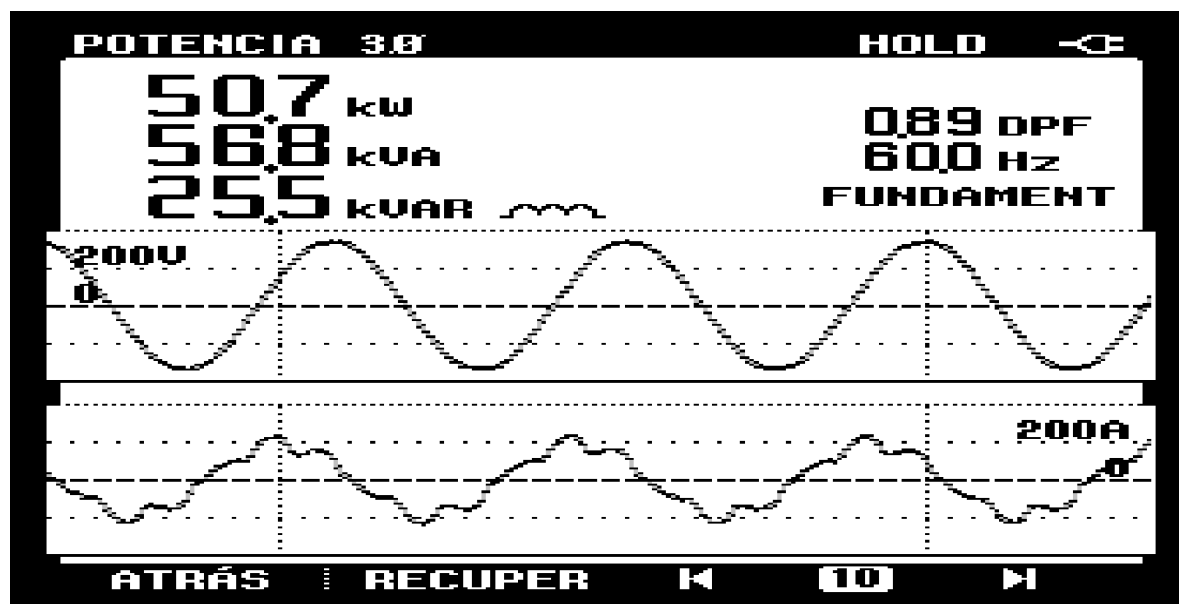
**Tabla 6:** Tabla del índice de multiplicador para encontrar los VAR directo.

**AnexosB:** Toma de datos del Fluke power quality analyzer 43b

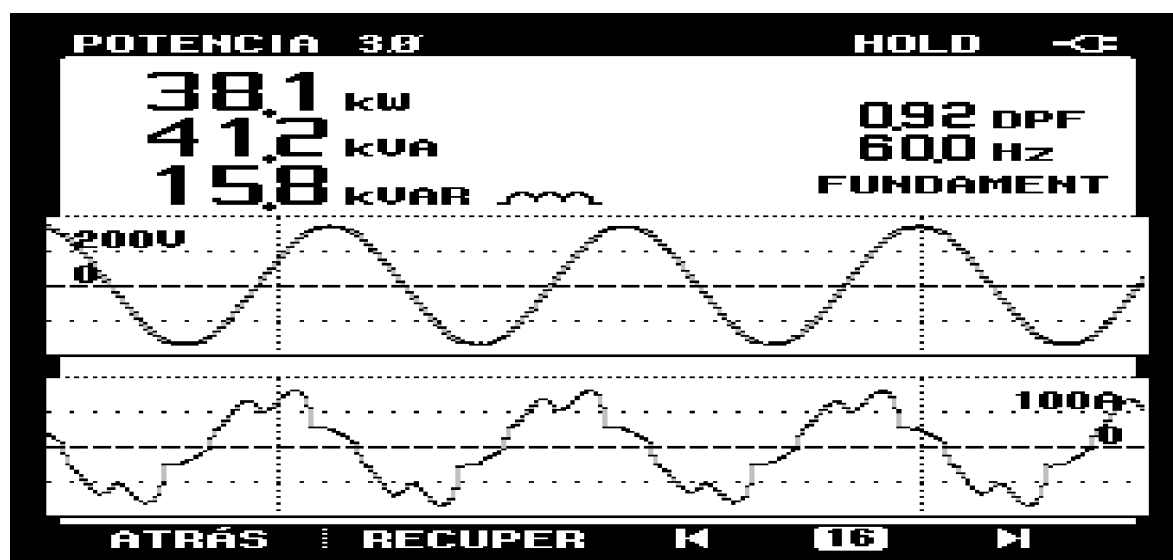
Panel 1



Panel 2



### Panel 3



## Anexo C: Cotización de Banco de capacitores



300 mts. Norte del BCR Plazoleta | Tel.: (506) 2251-4100  
San Antonio de Desamparados | Fax: (506) 2251-3131  
Apartado Postal 32-2020 Zapote | San José, Costa Rica

soluciones para la administración de la energía

[info@elmecsa.com](mailto:info@elmecsa.com)

Por medio de la presente nos permitimos presentar el documento denominado:

### Banco de Condensadores 16kVAr a 240 V

La presente especificación define las características técnicas del banco de capacitores automático de 16 Kvar.

#### 1. Características:

- Los módulos de capacitores son trifásicos en conexión interna de Delta.
- Los módulos o etapas son fácilmente reemplazables en pocos minutos.
- Los capacitores pueden trabajar permanentemente con sobretensiones del 10%.
- Los capacitores pueden trabajar por cortos periodos con sobretensiones del 20%.
- Los capacitores pueden trabajar con sobre corrientes de 30% debidas a armónicos.
- Seguridad absoluta ya que no explotan.

#### 2. Especificaciones:

- Banco automático de capacitores de 16 KVAR, 240V 3F.
- Armario metálico IP65 marca Schneider Electric.
- Capacitores con capacidad máxima de 6 etapas.
- Controlador de potencia reactiva de 6 etapas.
- Rejillas de ventilación.
- 4 etapas de 4 KVAR a 240V.
- 2 previstas para 4 KVAR a 240V cada una.
- Programa optimo: 1:1:1:1:1.

3. Otras características:

- Protección de corto circuito por medio de breakers.
- Contactor magnético.
- Módulos de capacitores VarplusCAN.

Nota:

Las combinaciones del banco de capacitores se ejecutan por medio de un módulo de control electrónico Varlogic de Schneider Electric, basado en un microprocesador con mediación digital del factor de potencia, ajuste de parámetros.

Control a 120 Vac protegido por fusibles.

Incluye:

- Verificación del cableado de potencia.
- Verificación de la correcta instalación del transformador de potencia.
- Parametrización y ajustes en el Varlogic para el correcto funcionamiento del mismo.

Ítem	Cant	Artículo	Precio Unitario	Precio Total
1	1	Banco de capacitores 16Kvar	₡ 2,451,000.00	₡ 2,451,000.00
				₡ 2,451,000.00
			I.V	₡ 318,630.00
En dólares equivale a \$ 4,945.76 Dólares			Total	₡ 2,769,630.00

Atte. Erika Araya G.

Ingeniera de Soporte y Proyectos

Elmec S.A.

www.elmecsa.com

energy administration solutions



Enetics



ABACUS  
ELECTRICS



highfield

MILBANK

MAO DAH

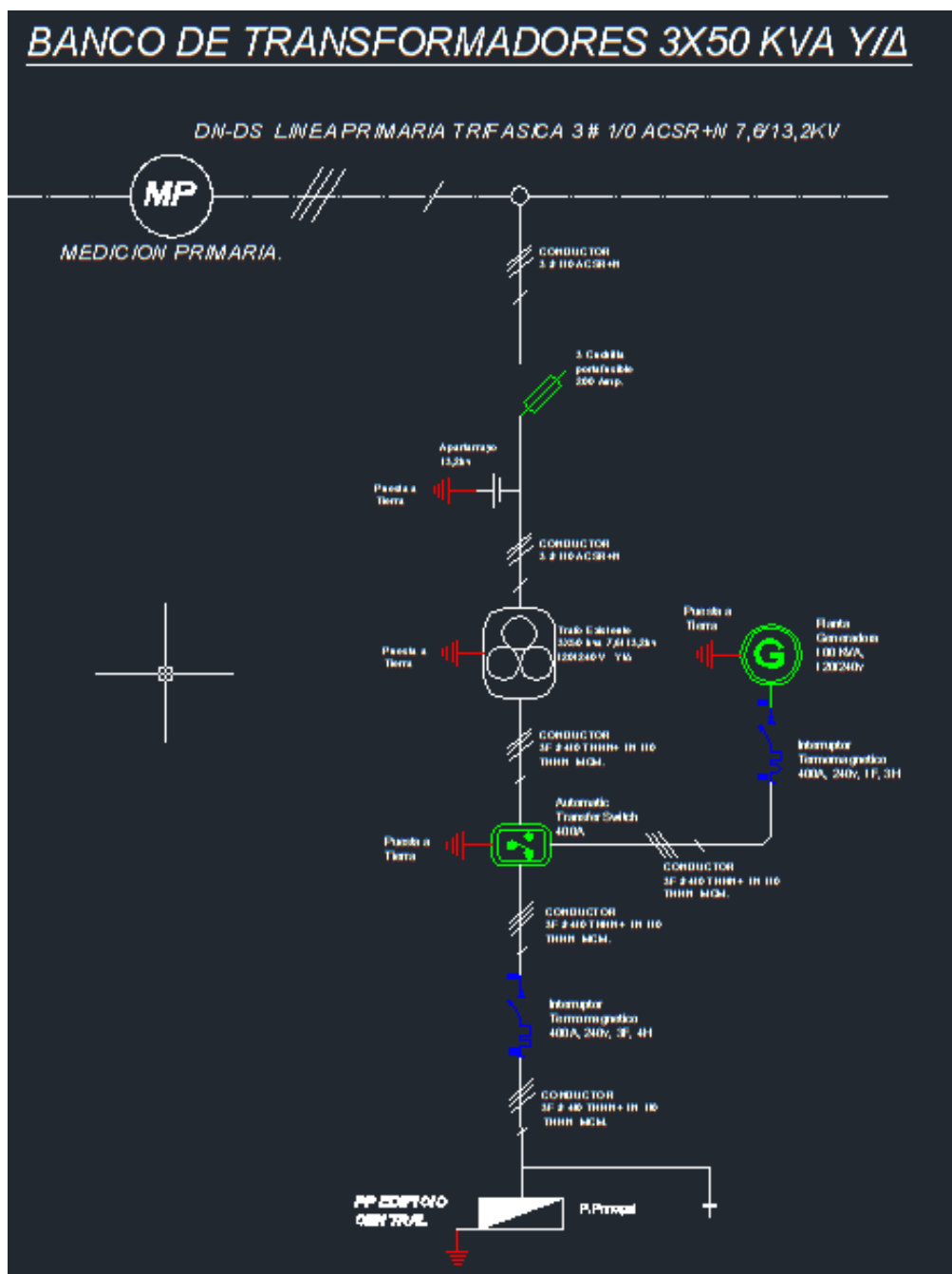


ProbeWell



## AnexoD: Conexión de los transformadores en la empresa Yanber

### Banco de transformadores de 3 x 50 KVA



**Anexo E:** Historial de consumo de la Empresa Yanber

<b>2014</b>	<b>KWH</b>	<b>KVAR</b>	<b>KW</b>	<b>F.P</b>	<b>DIAS</b>	<b>C\$</b>	<b>\$ USA</b>	<b>KILOS BPT</b>
ENERO	89.250,00	40.250,00	273	0,91	31	549.914,68	<b>21.705,56</b>	99.805,00
FEBRERO	82.600,00	39.550,00	224	0,9	28	497.761,66	<b>19.565,80</b>	90.802,66
MARZO	87.150,00	42.000,00	235	0,9	31	524.612,00	<b>20.544,18</b>	86.981,00
ABRIL	69.650,00	51.500,00	263	0,91	30	464.110,00	<b>18.099,74</b>	78.270,00
MAYO	86.800,00	60.250,00	262	0,91	31	531.964,00	<b>20.662,97</b>	78.025,00
JUNIO				0,9			-	93.955,00
JULIO	77.700,00	34.680,00	221	0,91	31	485.808,00	<b>18.706,87</b>	88.695,00
AGOSTO	76.650,00	34.650,00	221	0,91	31	483.163,00	<b>18.537,99</b>	71.617,00
SEPTIEMB.	76.300,00	34.450,00	217	0,91	30	482.264,00	<b>18.427,00</b>	80.880,00
OCTUBRE	85.760,00	39.900,00	235	0,91	31	538.932,00	<b>20.509,80</b>	85.342,00
NOVIEMBRE	98.350,00	43.750,00	228	0,91	30	684.395,25	<b>25.875,06</b>	100.347,00
DICIEMBRE	61.250,00	27.650,00	231	0,91	31	425.760,00	<b>16.078,55</b>	65.832,00
<b>TOTALES</b>	<b>891.460,00</b>	<b>448.630,00</b>	<b>2.610,00</b>		<b>335,00</b>	<b>5.668.684,59</b>	<b>218.713,51</b>	<b>1.020.551,66</b>
<b>PROM MES</b>	<b>81.041,82</b>	<b>40.784,55</b>	<b>237,27</b>	<b>0,99</b>	<b>30,45</b>	<b>515.334,96</b>	<b>19.883,05</b>	<b>85.045,97</b>